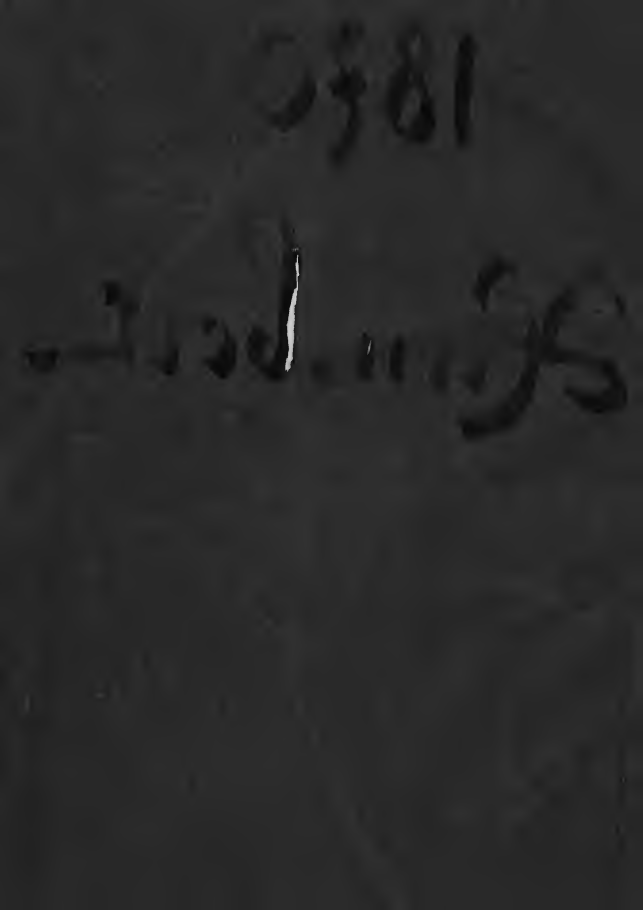
1870

Humbert



ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

DE L'ACIDE CARBONIQUE

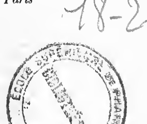
ET DE SON ROLE DANS LA RESPIRATION

THÈSE

Présentée et soutenue à l'École supérieure de Pharmacie de Paris

Le 28 juillet 1870

Pour obtenir le titre de Pharmacien de première classe



Par LÉON HUMBERT

Né à Metz (Moselle)



PARIS
IMPRIMERIE DE A. PILLET FILS AINÉ
5, RUE DES GRANDS-AUGUSTINS, 5

1870

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE.

ADMINISTRATEURS.

MM. Bussy, directeur.
Berthelot, professeur titulaire.
Chevallier, professeur titulaire.

PROFESSEUR HONORAIRE,

M. Caventou.

PROFESSEURS.

MM.	BUSSY	Chimie inorganique.
	BERTHELOT	Chimie organique.
	LECANU	Pharmacie chimique.
	CHEVALLIER	Pharmacie galénique.
	CHATIN	Botanique.
	A. MILNE-EDWARDS	Zoologie.
	BOUIS	Toxicologie.
	BUIGNET	Physique.
	PLANCHON	Histoire naturelle des médicaments.

PROFESSEURS DÉLÉGUÉS DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE.

MM. Wurtz.
Gavarret.

AGRÉGÉS.

MM. Baudrimont.
L. Soubeiran.
Riche.

MM. Bourgoin.
Jungfleisch.
Le Roux.
Marchand.

Nota. — *L'École ne prend sous sa responsabilité aucune des opinions émises par les candidats.*

A LA MÉMOIRE

DE MON EXCELLENT PÈRE

A MA MÈRE

Témoignage de ma vive affection !

A MES PARENTS

A MES PROFESSEURS

A MES AMIS

PRÉPARATIONS

CHIMIQUES	GALÉNIQUES
I. Sous-nitrate de plomb liquide.	I. Teinture de rhubarbe.
II. Carbonate de plomb.	II. Vin de rhubarbe.
III. Iodure de plomb.	III. Électuaire de rhubarbe composé.
IV. Bismuth purifié.	IV. Sirop de rhubarbe composé.
V. Sous-nitrate de bismuth.	V. Extrait alcoolique de rhubarbe.

En choisissant ce sujet, j'avais l'intention de réunir tous les faits principaux et intéressants de l'histoire de l'acide carbonique. Les circonstances actuelles me forçant à terminer cet essai aussi rapidement que possible, je me contenterai d'insister sur l'étude des propriétés physiques et chimiques du gaz acide carbonique, et je terminerai en cherchant à expliquer le rôle que joue ce corps dans la respiration des animaux et des végétaux.

Mais avant de commencer, qu'il me soit permis d'offrir ici mes remercîments à MM. les Professeurs de cette École, pour leurs excellentes leçons, en même temps que j'invoquerai leur indulgence pour les lignes qui suivent.

DE

L'ACIDE CARBONIQUE

ET DE SON ROLE DANS LA RESPIRATION



HISTORIQUE.

L'acide carbonique est le premier gaz que les anciens chimistes aient distingué de l'air atmosphérique ; sa découverte date du XVIe siècle. Paracelse et Van Helmont reconnurent que les pierres calcaires fournissaient par la calcination un corps particulier, qui reçut de Bergmann le nom d'*acide aérien*, en raison de ses propriétés acides. En outre, Van Helmont constata que cet acide aérien, qu'il appelait *gaz sylvestre*, se produisait dans la fermentation des liquides sucrés, dans la combustion du charbon, et qu'il se rencontrait dans certaines excavations naturelles, telles que la grotte du Chien.

Au XVIIe siècle, Hales, revenant sur les expériences de Paracelse et Van Helmont, découvrit que ce nouveau gaz entrait pour une

proportion considérable dans la composition des pierres calcaires, aussi l'acide aérien changea-t-il de nom, pour prendre celui d'*acide crayeux*.

Vers le milieu du XVIII[e] siècle, un physicien anglais, Black, en étudiant le gaz carbonique, découvrit ses principales propriétés et le nomma *air fixe* ou *fixé* (fixed air). Il confirma expérimentalement toutes les observations de Van Helmont et de Hales, quant aux sources de production du nouveau gaz, mais il soupçonna aussi qu'il y avait de l'air fixe produit dans la respiration de l'homme. Enfin il conclut de ses recherches que ce gaz est absorbé par les alcalis caustiques et qu'il les neutralise; que ces mêmes alcalis, ainsi que la craie, traités par un acide, laissent dégager leur air fixe avec effervescence.

Ce fut Priestley qui le premier reconnut, à la fin du siècle dernier, l'existence de l'acide carbonique dans l'air atmosphérique. A cette époque, on ne connaissait pas encore nos appareils si commodes à recueillir les gaz. Priestley demeurait au-dessus d'un brasseur, et, pour se procurer le gaz carbonique qui se dégage des cuves en fermentation, il n'avait rien trouvé de plus ingénieux, qu'un flacon rempli d'eau qu'il descendait au-dessus d'une de ces cuves. Là il le vidait, et le bouchait ensuite aussi rapidement que possible, dès que le gaz avait pris la place de l'eau.

Ce gaz existant dans l'air atmosphérique, était-il de même nature que celui qui résulte de la combustion du charbon? Lavoisier et Pearson se chargèrent de le démontrer. En 1775, Lavoisier établit au moyen de la synthèse la composition de ce gaz, qui, d'après la nouvelle nomenclature chimique, reçut le nom d'*acide carbonique*. Lavoisier avait trouvé que pour 100 parties de gaz carbonique, il y avait 72 parties d'oxygène et 28 de carbone. Berzélius vérifia après lui son expérience, et évalua la proportion du carbone contenu dans l'acide carbonique à 27,65.

Plus tard enfin, MM. Dumas et Stas établirent la véritable composition de l'acide carbonique au moyen d'une méthode dont la préci-

sion ne laisse rien à désirer; ils démontrèrent que ce gaz contient 27,27 de carbone pour 72,73 d'oxygène.

En 1823, l'acide carbonique fut liquéfié par Faraday, et solidifié en 1835 par M. Thilorier.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

A la température et à la pression atmosphérique ordinaires, l'acide carbonique est un gaz incolore, transparent, d'une odeur légèrement piquante; il possède une saveur aigrelette ou acidulée, et fait éprouver une sensation de chaleur et un picotement très-vif à la peau, particulièrement au nez et aux yeux, quand il entre pour une assez forte proportion dans la composition de l'air.

Sa densité est considérable; elle est représentée par le nombre 1,52901, l'air étant supposé à 1,000. (H. Régnault). Un litre d'acide carbonique pèsera donc 1 gr. 977 à 0° de température et à la pression de 0^{m} 76, l'air pesant dans les mêmes conditions 1 gr. 293187. Cette grande densité de l'acide carbonique peut être démontrée par plusieurs expériences :

1° Si l'on met dans une balance bien sensible et bien équilibrée un grand sac de papier ouvert, et que l'on vienne à y verser de l'acide carbonique, on verra la balance trébucher et s'abaisser du côté du sac.

2° Si l'on renverse une cloche pleine d'acide carbonique au-dessus d'une autre cloche pleine d'air, on voit, au bout de peu de temps que tout l'acide carbonique a passé dans la cloche inférieure, tandis qu'il se trouve remplacé par l'air. On peut s'assurer au moyen d'une allumette enflammée, de la nature des gaz; en effet, elle s'éteindra aussitôt dans l'acide carbonique.

3° Si on fait tomber des bulles de savon remplies d'air dans un

bocal plein en partie d'acide carbonique, elles resteront comme suspendues au milieu du bocal, soutenues par le gaz, comme le serait du liége à la surface de l'eau.

4° Si l'on place au fond d'un bocal une bougie allumée, et si l'on verse avec précaution du gaz carbonique, la bougie s'éteindra, lorsque la couche du gaz ainsi versé sera arrivée à la hauteur de la flamme.

C'est par cette grande densité de l'acide carbonique que l'on peut expliquer ce qui se passe dans la grotte du Chien près de Naples, où se dégage sans cesse de l'acide carbonique. Un animal de petite taille, tel qu'un chien, y est asphyxié rapidement, tandis que l'homme n'y éprouve aucun malaise. En effet, l'acide carbonique ne se maintient que dans les couches inférieures, et, arrivé à une certaine hauteur, il s'écoule par l'ouverture de la grotte.

Cette même raison fait qu'il s'accumule dans les parties inférieures des mines, des puits et des sources, où il détermine parfois de funestes accidents.

La densité de l'acide carbonique n'est pas rigoureusement proportionnelle à la pression, si ce n'est entre des limites très-rapprochées. Son coefficient de dilatation pour un degré centigrade entre 0 et 100°, est de 0,003719 suivant Regnault et de 0,003660 suivant Magnus. La loi de Mariotte ne s'applique à ce gaz que sous de faibles pressions, sous celle d'un tiers d'atmosphère par exemple.

Il réfracte la lumière, son pouvoir réfringent est égal à 1,526. (Dulong).

L'acide carbonique est impropre à la combustion : il éteint les corps en ignition, et ne peut servir à l'entretien de la vie et de la respiration des animaux. L'air devient irrespirable, lorsqu'il en contient de 1/5 à 1/4 (Seguin). son action paraît s'exercer sur le système nerveux, et un oiseau mis plein de vie sous une cloche d'air atmosphérique ne tarde pas à succomber, si l'on y introduit une certaine quantité d'acide carbonique.

Il est antiseptique, désinfectant, et retarde la putréfaction des substances animales; aussi peut-on arrêter, ou du moins ralentir notablement la décomposition de la viande avancée et commençant à se putréfier; si on la plonge dans l'eau gazeuse, la viande redevient rouge, ferme, perd son odeur fétide, et elle peut même reprendre de la qualité (M. Herpin).

Action de la chaleur.

L'acide carbonique, sous l'action de la chaleur, était regardé autrefois comme indécomposable. « La chaleur la plus forte n'altère pas l'acide carbonique gazeux, qui toutefois est décomposé en oxygène et oxyde de carbone par une série d'étincelles électriques; phénomène d'autant plus singulier que, sous cette même influence de l'étincelle, l'oxygène et l'oxyde de carbone s'unissent pour former de l'acide carbonique. » (*Traité de chimie générale*, Pelouze et Frémy.) Depuis, les travaux de M. H. Sainte-Claire Deville ont montré que si l'on fait passer un courant d'acide carbonique absolument pur dans un tube de porcelaine rempli de fragments de même espèce et porté à une température de 1300°, ce gaz est dissocié ; on recueille les gaz sur une petite cuve en porcelaine, pleine de potasse concentrée, où plongent de longs tubes fermés par un bout et remplis de potasse, qui a pour but de retenir l'acide carbonique en excès.

« Quand l'appareil est bien chaud, l'acide carbonique qui s'en échappe avec une vitesse de 7^{l},93 à l'heure cesse d'être entièrement absorbé et l'on recueille en même temps de 20 à 30 centimètres cubes d'un gaz fortement explosif, dont la composition est constante et qui renferme :

Oxygène	30 »
Oxyde de carbone	62 3
Azote	7 7
	100 00

Si l'on fait passer la même quantité d'acide carbonique au travers de la cuve, on obtient, au bout du même temps et dans les mêmes tubes, une quantité de gaz égale à 1[cc],4 dont la composition est :

Oxygène	14
Azote	86
	100

ce qui explique parfaitement la présence accidentelle de l'azote dans les produits bruts de la dissociation de l'acide carbonique » (1).

Quant aux étincelles électriques, elles décomposent partiellement l'acide carbonique en oxygène et en oxyde de carbone; mais l'action ne peut jamais se compléter, car l'oxyde de carbone et l'oxygène se combinent sous la même influence pour reformer le gaz primitif, ainsi que je l'ai dit plus haut.

Diffusion.

L'acide carbonique possède cette propriété à un degré plus élevé que les autres gaz. Le tableau suivant, donné par M. Graham, indique les vitesses relatives avec lesquelles des gaz non mélangés et semblablement séparés d'un espace vide par un septum de caoutchouc traversent cette cloison :

Azote	1.00
Gaz des marais	2.15
Oxygène	2.55
Hydrogène	5.50
Acide carbonique	13.58

Si on expérimente sur un septum de platine, la quantité d'acide carbonique transmis à la température rouge ne monte même pas à

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LVI, année 1863. De la dissociation de l'acide carbonique, par M. H. Sainte-Claire Deville.

1 centimètre cube en une demi-heure, tandis que, dans les mêmes conditions, la quantité d'hydrogène est cent fois plus forte.

Enfin, si on agit sur une plaque de graphite comprimé, c'est-à-dire sur un corps dont les pores sont tellement petits que la résistance à la transmission du gaz rend ce septum absolument imperméable à la transpiration sous une pression donnée, on peut déterminer la vitesse d'expansion de l'acide carbonique comparée à celle des divers autres gaz. C'est encore M. Graham qui nous donne les chiffres suivants :

Hydrogène	3.80
Gaz des marais	1.34
Azote	1.01
Oxygène	0.95
Acide carbonique	0.81

Solubilité.

L'acide carbonique est soluble dans l'eau et l'alcool. L'eau en dissout environ un volume à la température et à la pression ordinaires. Si l'on place sur une cuve à eau une cloche renversée pleine d'acide carbonique, on voit, au bout de quelques heures, que le gaz est absorbé par l'eau ; il disparaît peu à peu et est remplacé par l'eau de a cuve.

Si on augmente la pression, l'eau peut dissoudre cinq ou six fois son volume de gaz, pourvu que la température reste la même. C'est ce qui a lieu pour les eaux artificielles gazeuses dont on fait usage pour la table. Le degré de solubilité du gaz carbonique dans l'eau varie suivant la température et la pression à laquelle le gaz est soumis. Dans le vide, l'eau perd sa faculté de dissoudre l'acide carbonique ; elle la perd également à une température de 100 degrés au-dessus de 0.

Les coefficients d'absorption de l'acide carbonique, c'est-à-dire les

volumes réduits à 0° et à la pression de 0^m,760 qu'un volume d'eau dissout sous la pression normale aux différentes températures, ont été déterminés par M. Bunsen. Le tableau suivant indique la solubilité de l'acide carbonique dans l'eau pure et l'alcool entre 0 et 20 degrés centigrades, à la pression barométrique de 760^{mm} :

Température.	Eau.	Alcool.
0°	1.7977	4 3295
3°	1.5687	4.0589
5°	1.4479	3.8908
8°	1.2809	3.6573
10°	1.1847	3.5140
12°	1.1018	3.2807
15°	1.0020	3.1993
18°	0.9318	3.0402
20°	0.9014	2.9465

(Bunsen, *Méthode gazométrique* trad. franç., 1858.)

M. Maumené a calculé, d'après la formule de M. Bunsen, les chiffres que l'on obtiendrait au delà de cette température de 20°, et il a trouvé les nombres suivants :

Température.	Gaz absorbé.
21°	0.8900
22°	0.8800
23°	0.8710
24°	0.8630
25°	0.8560
26°	0.8505
27°	0.8460
28°	0.8420
29°	0.8390
30°	0.8370

Ces nombres font voir combien il est avantageux de fabriquer les eaux et boissons gazeuses sous l'influence d'une basse température.

L'eau saturée d'acide carbonique est incolore ; elle a une odeur piquante, une saveur aigrelette et agréable. L'eau de source ou de

puits doit sa saveur rafraîchissante à l'acide carbonique qu'elle tient en dissolution. M. Wurtz admet que ce gaz s'y trouve à l'état d'hydrate CO^2HO, peu stable, car la chaleur, une diminution de pression et la congélation le décomposent.

Cette solution aqueuse, saturée de gaz carbonique, mousse fortement au contact de l'air ou par l'agitation, car la pression qui maintenait le gaz en dissolution venant à cesser, ce dernier s'échappe aussitôt : voilà pourquoi les bouchons fermant les bouteilles d'eau gazeuse sautent avec bruit, quand on vient à couper les ficelles qui les retiennent. C'est la même cause qui fait pétiller le vin de Champagne, le cidre ou la bière, liquides dans lesquels l'acide carbonique est produit par la fermentation : les liquides étant mis en bouteille avant l'achèvement de la fermentation, une certaine quantité de gaz y est emprisonnée.

Les liquides tenant en dissolution de l'acide carbonique l'abandonnent en grande partie au contact de l'air ; mais certaines eaux minérales le retiennent pendant longtemps ; la fixité du gaz dans ces eaux constitue l'une de leurs principales qualités. Les eaux de Selters, Spa, Saint-Galmier et autres, contiennent une fois ou plus leur volume de gaz acide carbonique.

Si l'eau contient du chlorure de sodium en dissolution dans une proportion de 15 pour cent, l'absorption du gaz par l'eau diminue à peu près de moitié. Mais si l'eau contient en dissolution des carbonates et des phosphates, le volume de l'acide carbonique absorbé augmente d'une façon très-notable et aussi très-rapide.

La solution aqueuse d'acide carbonique rougit la teinture de tournesol, ce que ne fait pas le gaz sec.

La limaille de fer se dissout dans l'eau chargée de gaz carbonique et donne, avec le tannin, de l'encre. Les eaux minérales de Pyrmont, Spa, Bussang, etc., sont des eaux chargées de gaz carbonique qui tiennent du fer en dissolution.

L'eau chargée d'acide carbonique dissout le carbonate de chaux ;

mais par son exposition à l'air ou à la chaleur, elle le laisse déposer : c'est ainsi que se forment les dépôts calcaires dans les chaudières des machines à vapeur, les incrustations des tuyaux de conduite des eaux, les pétrifications artificielles de Saint-Alyre, de Saint-Nectaire, etc., et ces concrétions allongées et de forme conique que l'on trouve dans certaines grottes. Ces cônes, connus sous le nom de stalactites, sont creux ou pleins intérieurement; leur surface est souvent hérissée de pointes cristallines : ce sont des formes accidentelles résultant de la chûte du liquide. Les premières gouttes qui suintent à travers la voûte de la cavité et qui y restent suspendues, subissent un commencement d'évaporation à leur surface; l'acide carbonique qui tenait en dissolution le sel calcaire se dégage, de là ce dépôt de molécules salines formant un rudiment de tube, lequel prend de l'accroissement à l'aide de nouvelles gouttes arrivant à la suite des premières et s'écoulant soit le long de la surface, soit dans la cavité intérieure. Enfin, ce tube finit par s'obstruer et la stalactite ne se développe qu'à l'extérieur, surtout à la base, ce qui contribue à lui donner une forme conique. Quand l'eau calcaire tombe sur le sol d'une grotte, elle forme des dépôts mamelonnés, à structure ondulée et stratiforme : ce sont les stalagmites. Il arrive que ces derniers dépôts, en se développant, vont joindre les stalactites, et constituent au bout d'un certain temps ces énormes colonnes qui tapissent l'intérieur des grottes. La plus célèbre est celle d'Antiparos, dans l'Archipel grec. En France, on cite les cavernes d'Auxelles et d'Arcy.

Berzélius, après Thénard, a signalé la dissolution du phosphate de chaux dans l'eau chargée de gaz carbonique. Plus tard, M. Dumas a vu que des lames d'ivoire, mises en contact avec l'eau de seltz, s'y ramollissaient en 24 heures, tout comme dans l'acide chlorhydrique étendu. C'est probablement à ce résultat qu'on doit rapporter les propriétés de certaines eaux minérales gazeuses contre la gravelle et les affections calculeuses.

Enfin, la dissolution aqueuse de gaz carbonique jouit de la curieuse

propriété de dissoudre notablement la strychnine; ainsi, 100 parties d'eau saturée d'acide carbonique dissolvent 1 partie de strychnine, tandis qu'il faut 6667 parties d'eau à 10°. (Maury.)

LIQUÉFACTION. — SOLIDIFICATION.

L'acide carbonique n'est pas un gaz permanent; on peut l'obtenir sous les trois états : solide, liquide, gazeux. Faraday, le premier, en a opéré la liquéfaction, en décomposant dans un tube recourbé et fermé aux deux bouts, du carbonate d'ammoniaque en présence d'acide sulfurique. D'après ce célèbre physicien, l'acide carbonique se liquéfie à

0 degré sous	une pression de	36 atmosphères
15	—	50
30	—	73

MM. Loir et Drion sont parvenus à le liquéfier à la pression ordinaire, en le refroidissant jusqu'à la température que produit dans le vide de la machine pneumatique l'évaporation de l'ammoniaque liquide, c'est-à-dire à —89°. La liquéfaction a lieu en faisant passer un courant de ce gaz carbonique sec dans un tube en **U** plongeant dans de l'ammoniaque liquide qu'on vaporise au moyen d'une machine pneumatique. Si l'on fait intervenir une légère pression, 3 ou 4 atmosphères, on voit apparaître en peu de temps, sur les parois intérieures du tube, des cristaux d'acide solide, qui sont incolores et transparents comme de la glace. On les détache facilement des parois du tube condenseur, et ils se présentent alors sous la forme de gros cristaux d'apparence cubique, ayant de 3 à 4 millimètres de côté.

En 1835, M. Thilorier put opérer la liquéfaction de l'acide carbonique sur une grande échelle, et même sa solidification, au moyen du froid considérable que l'acide liquide produit en se vaporisant à

l'air sous la pression ordinaire. On sait, en effet, que pour se vaporiser, un corps doit nécessairement emprunter de la chaleur à un autre corps; or, si l'on fait en sorte que l'acide liquide soit obligé de prendre cette chaleur à lui-même, une partie de cet acide amené à une température plus basse, se congélera et deviendra solide.

L'appareil de M. Thilorier permet de préparer à la fois plusieurs kilogrammes d'acide carbonique liquide. Il opérait autrefois dans des vases en fonte, mais une explosion terrible ayant eu lieu à l'École de pharmacie de Paris (1), on se sert aujourd'hui d'un appareil imaginé par M. Donny, qui est formé de trois métaux superposés. Le vase intérieur est en plomb, il est recouvert de cuivre rouge, et cette double enveloppe est renforcée par des cercles en fer forgé.

MM. Deleuil et Bianchi, constructeurs à Paris, se servent encore de fonte, mais ils se garantissent de l'explosion par une enveloppe de fer forgé.

L'appareil Thilorier se compose d'un générateur et d'un récipient. Le générateur est une chaudière cylindrique formée par la triple enveloppe, plomb, cuivre rouge et fer forgé. Sa capacité est de 6 à 7 litres, et il est suspendu sur deux pointes d'un support en fonte, de sorte qu'il peut osciller et tourner entièrement autour de l'axe horizontal mené par ces pointes. Le récipient est formé d'un vase de plomb également enveloppé de cuivre et de fer forgé : l'ouverture est fermée par un bouchon à vis percé suivant son axe et muni d'un robinet. (L'ouverture de ce robinet est fermée par une balle de plomb qui se trouve pressée par de fortes tiges en acier et qui forme un véritable lut métallique.) Le récipient porte encore une ouverture sur son arête supérieure : on engage dans cette ouverture un tube de cuivre qui descend presque jusqu'au fond du récipient et qui est muni

(1) C'est en faisant osciller trop rapidement le cylindre générateur, que le préparateur de chimie, Hervy, a déterminé la rupture de l'appareil dont les éclats l'ont atteint mortellement.

au dehors d'un robinet. On établit la communication entre le récipient et le générateur au moyen d'un tube de cuivre.

Pour produire l'acide carbonique, on introduit dans le générateur 1800 grammes de bicarbonate de soude, 4 litres ½ d'eau chauffée vers 40° environ et un vase cylindrique en cuivre contenant 1 kilogramme d'acide sulfurique concentré. On le place dans l'axe du générateur, l'on bouche ensuite, et on le fait osciller autour de son axe de manière que l'acide puisse réagir sur le sel. La réaction qui se passe est bien simple, il se fait du sulfate de soude, de l'eau et de l'acide carbonique. Au bout de 10 minutes, on ouvre les robinets pour faire passer l'acide carbonique dans le récipient. L'acide distille en vertu de la différence de température qui existe entre les deux parties de l'appareil, et aussi surtout en raison de la différence de pression; et comme la quantité d'acide carbonique fournie par 1800 grammes de bicarbonate de soude dans cet espace produit une pression plus considérable que celle indiquée par Faraday, une certaine quantité se liquéfie dans le récipient, qui est à une température plus basse que le générateur. On vide les matières qui sont dans le générateur, et on procède à une nouvelle préparation d'acide carbonique qu'on fait passer de la même façon dans le récipient : en recommençant 5 ou 6 fois, on peut accumuler jusqu'à deux litres de gaz liquide.

L'acide carbonique liquide est incolore, très-soluble dans l'alcool, l'éther et les huiles volatiles, mais il ne se mélange pas à l'eau. Sa densité est représentée par les nombres

0.90	à	— 20°	
0.83	à	0°	
0.60	à	+ 30°	(Thilorier.)

Par sa vaporisation, il produit un froid de — 70°.

L'acide carbonique liquéfié présente le fait étrange et unique d'un liquide *quatre fois plus dilatable que le gaz*. En effet, en passant de 0°

à + 30, le volume de ce liquide devient de moitié plus considérable. Les tensions aux différentes températures sont les suivantes :

Température.	Tension en atmosphères.	
	Paraday.	Marecha et Donny.
— 59.4	4.6	»
48.8	7.7	»
36.6	12.5	»
30.5	15.4	»
26.1	17.8	»
20.0	21.5	23.6
15.0	24.7	25.3
12.2	26.8	»
10.0	»	27.5
9.4	29.1	»
5.0	33.1	»
0.0	38.5	36
+ 6.3	»	42
10.0	»	46
15.5	»	52
19.0	»	57
23.5	»	63
27.0	»	68
30.7	»	74
34.5	»	80

Si on ouvre le robinet du récipient, l'acide carbonique liquide est projeté avec une grande violence hors du vase, et quand il arrive sous la simple pression atmosphérique, il prend l'état gazeux. Il résulte de ce changement d'état un refroidissement tellement intense, qu'une partie notable de l'acide carbonique se solidifie sous forme d'une fumée blanche. Si on dirige le jet de liquide dans une boîte métallique à paroi très-mince, une grande partie se volatilise encore en prenant la chaleur nécessaire à la partie restée liquide; mais la température s'abaisse jusqu'à —78°, et l'acide se solidifie en se condensant sous forme d'une neige blanche cotonneuse.

Tension de l'acide carbonique solide. (Faraday.)	Température.
1.14	— 99.4
1.36	77.2
2.28	70.5
3.6	63.9
4.6	59.4
5.33	57.0

L'acide solide peut être conservé plus longtemps que le liquide; l'évaporation est très-lente, à cause de la mauvaise conductibilité de la matière. Un flocon placé sur la main ne fait pas éprouver de froid très-considérable, parce que l'acide solide est isolé de la main par un courant de gaz qui se dégage et empêche le contact; mais, si on écrase le flocon, on éprouve une sensation douloureuse, semblable à celle que produit un corps chaud, et la peau est désorganisée comme elle le serait par une brûlure. Si on ajoute de l'éther à l'acide solide, il s'y mêle sans s'y combiner; on produit ainsi un froid très-intense, dû à ce que le liquide interposé augmente la conductibilité du solide et permet une évaporation plus rapide (1). Dans ce cas, la température descend jusqu'à — 100°.

On augmente l'intensité du froid en plaçant le mélange sous le récipient de la machine pneumatique. En y maintenant constamment le vide, on peut aller jusqu'à — 110°, de telle façon que l'acide carbonique n'est pas alors plus volatil que l'eau à — 30°.

En plaçant dans un pareil bain des tubes de verre ou de cuivre dans lesquels des gaz peuvent être comprimés jusqu'à 40 atmosphères au moyen de pompes foulantes, on a obtenu des liquéfactions et des solidifications de gaz que l'on n'aurait pu produire par d'autres méthodes. Voici les résultats auxquels on est arrivé :

Gaz liquéfiés : Hydrogène bicarboné, fluorure de silicium, acide chlorhydrique.

(1) C'est ce mélange d'acide carbonique solide et d'éther qui a permis à M. Bussy de liquéfier et même de solidifier du cyanogène à la température ordinaire.

Gaz liquéfiés et ensuite solidifiés : Acides iodhydrique, bromhydrique, sulfhydrique, sulfureux, hypochlorique, carbonique; protoxyde d'azote, cyanogène, ammoniaque, chlore, hydrogène arsénié.

L'alcool est devenu épais comme l'huile, mais ne s'est pas solidifié; le bioxyde d'azote et l'oxyde de carbone n'ont donné aucun signe de liquéfaction (Faraday).

Le mercure placé au milieu de l'acide carbonique solide se congèle immédiatement et prend l'apparence du plomb : on peut en faire des pièces de monnaie, des médailles; mais ces objets ne gardent leur forme qu'autant qu'on les entoure d'un mélange d'éther et d'acide carbonique solide.

J'ai dit plus haut que l'effet produit sur les organes par ce mélange était comparable à celui d'une brûlure; les fluides de l'économie sont solidifiés, le sang se coagule et se durcit complétement, enfin une vive inflammation ne tarde pas à se manifester dans l'organe soumis à l'influence de ce froid excessif.

L'acide carbonique se solidifie lui-même quand on le fait arriver dans un tube refroidi par l'acide carbonique et l'éther. Il ne se présente pas dans cette circonstance en flocons blancs, comme lorsque la solidification a lieu d'une façon brusque. Il forme une masse incolore semblable à de la glace. L'eau nous offre le même phénomène : quand elle est congelée brusquement, elle se présente en flocons opaques; quand elle passe lentement de l'état liquide à l'état solide, elle constitue des masses incolores et transparentes comme le verre. C'est ce même acide carbonique solide et transparent que donne le procédé de MM. Loir et Drion. Les cristaux obtenus par ce moyen et exposés à l'air reprennent lentement l'état gazeux sans laisser aucun résidu. Ils se laissent difficilement saisir entre les doigts; mais quand on parvient à les maintenir, ils ne tardent pas à produire une brûlure insupportable.

M. Berthelot a indiqué pour la liquéfaction en petit des gaz un

moyen qui peut également s'appliquer à l'acide carbonique. On y arrive en se servant de la dilatation d'un liquide sous l'influence de la chaleur comme moyen de compression. On prend un tube de verre très-épais et effilé à l'une de ses extrémités, on y introduit du mercure et on fait communiquer l'extrémité effilée avec une source de gaz carbonique, après avoir chauffé le mercure jusqu'au point de le faire sortir du tube. Le liquide se refroidissant, une certaine quantité de gaz entre dans le tube, et on ferme la pointe au chalumeau. On n'a plus alors qu'à chauffer le mercure qui se dilate en comprimant le gaz, jusqu'à lui faire prendre l'état liquide, si le tube est suffisamment résistant.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES.

L'acide carbonique n'est pas modifié par l'oxygène : il éteint les corps en combustion. Les corps avides d'oxygène le détruisent; ainsi, si l'on fait passer des volumes égaux d'hydrogène et d'acide carbonique à travers un tube porté au rouge, on obtient de l'oxyde de carbone et de la vapeur d'eau :

$$CO^2 + H = CO + HO.$$

Le charbon à la température rouge opère la même réduction :

$$CO^2 + C = 2CO.$$

Le phosphore, le bore, le silicium, se comportent de la même façon, mais l'action est plus profonde, si on emploie un carbonate. Le phosphore et le silicium chauffés au rouge avec le carbonate de soude donnent du carbone et du phosphate ou silicate de soude.

Le soufre, l'azote, le chlore, l'iode, sont sans action sur l'acide carbonique pur.

Le potassium et le sodium chauffés au rouge dans l'acide carbonique sec le décomposent, y brûlent et déterminent un dépôt de charbon mêlé de carbonate de potasse. M. Pelouze en a séparé le charbon sous la forme d'une poussière noire facilement reconnaissable.

Si l'on chauffe de l'amalgame de potassium renfermant 2 °/₀ de potassium dans du gaz acide carbonique jusqu'à la température d'ébullition du mercure, il se forme de l'acide oxalique; on obtient le même produit, mais en moindre proportion, en faisant passer un courant rapide d'acide carbonique sec dans un mélange de sodium et de sable sec récemment calciné et maintenu à la température d'ébullition du mercure.

Le fer, le zinc et les métaux des premières sections agissent sur l'acide carbonique comme l'hydrogène et le carbone, c'est-à-dire qu'ils le réduisent et le ramènent à l'état d'oxyde de carbone.

Les hydracides sont sans action sur lui.

L'acide carbonique sec est sans action sur la teinture de tournesol, mais sa dissolution dans l'eau lui communique la couleur rouge vineuse; si l'on foule le gaz dans cette teinture sous la pression de deux atmosphères, on obtient la couleur rouge pelure d'oignon (Malaguti).

Il ne forme le plus souvent avec les bases qu'une seule classe de sels dont la formule générale est MO,CO^2; ce sont les sels neutres. D'après M. Kolb, il serait sans action sur la chaux, la potasse et la soude anhydres.

Dans une note à l'Académie des sciences, M. Kolb expose ainsi les résultats qu'il a obtenus : la potasse, la soude, la chaux, la magnésie, la baryte anhydre, soumises pendant un mois à l'action d'un courant d'acide carbonique sec, ne s'y sont pas combinées. De plus, il a également reconnu que ces oxydes monohydratés, c'est-à-dire, ne contenant que de l'eau combinée, donnaient les mêmes ré-

sultats négatifs. Cependant si au lieu de se servir de gaz sec, on le saturait d'humidité, alors il était absorbé. Dans ses expériences, M, Kolb assigne à l'eau une action purement mécanique, soit le rôle de dissolvant. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, Année 1867).

Les alcalis et les oxydes alcalino-terreux donnent naissance à des bicarbonates $MOHO,2CO^2$; l'acide carbonique est donc un acide bibasique, comme les acides sulfureux, sulfurique, pyrophosphorique. Les carbonates alcalins neutres absorbent aussi l'acide carbonique et se transforment en bicarbonates.

Le borate neutre de soude à l'état cristallisé et hydraté absorbe l'acide carbonique, mais à l'état de dissolution concentrée, il l'absorbe bien plus rapidement encore, il se forme du borax ordinaire et du carbonate de soude.

$$2\,NaO,BoO^3 + CO^2 = NaO,2BoO^3 + NaO,Co^2.$$

Le phosphate de soude $3(NaO)PhO^5$ se comporte également de la même manière.

La potasse ou la soude se combinent avec l'acide carbonique en trois porportions différentes et produisent ainsi :

des carbonates neutres........	KO ou NaO, CO^2
des sesquicarbonates..........	$2KO$ ou $^2NaO,3CO^2$
des bicarbonates.............	KO ou $NaO,3CO^2$

Dans ces trois sortes de carbonates, la proportion d'acide carbonique uni à la même quantité de base est représentée par les nombres 1, 1/2, 2. On obtient les bicarbonates en faisant passer un courant de gaz acide carbonique dans la solution des carbonates ordinaires, jusqu'à ce qu'ils en soient saturés. Une fois formés, ils se déposent en cristaux en raison de leur moins grande solubilité.

L'acide carbonique déplace l'acide urique de ses combinaisons sa-

lines : l'acide urique est précipité sous la forme solide, pulvérulente à cause de sa faible solubilité dans l'eau. C'est probablement à cette propriété que l'on doit les effets des eaux minérales bicarbonatées gazeuses dans le traitement de la goutte.

PROPRIÉTÉS CARACTÉRISTIQUES.

Il éteint les corps en combustion; caractère qui lui est commun avec l'azote, mais il se distingue de ce dernier gaz en ce qu'il trouble l'eau de chaux, ce que ne fait pas l'azote.

Mis en contact avec l'eau de chaux, il forme un précipité blanc, floconneux, insoluble dans l'eau, mais soluble dans les acides même faibles, tels que l'acide acétique. Ce précipité de carbonate de chaux est soluble dans l'acide carbonique, aussi doit-on mettre la chaux en excès, ce dont on s'assure au moyen d'un papier rouge de tournesol qui doit être ramené au bleu. Sans cette précaution, l'acide carbonique pourrait échapper à l'observation et avec d'autant plus de facilité que sa proportion serait plus considérable.

COMPOSITION ET ÉQUIVALENTS DE L'ACIDE CARBONIQUE.

La composition de l'acide carbonique a été déterminée par Lavoisier. On peut effectuer cette détermination par la synthèse en enflammant, au moyen de l'électricité, des baguettes de charbon placées dans un ballon à deux tubulures rempli d'oxygène sec. En poursuivant l'expérience un certain temps, on voit après le refroidissement de l'appareil, que le volume de l'acide carbonique formé est sensiblement égal à celui de l'oxygène employé ; il le serait exactement, si l'acide carbonique suivait parfaitement la loi de Mariotte.

Dans cette expérience, il faut avoir soin de mettre le charbon en

excès, sans quoi la transformation possible de l'acide carbonique en oxyde de carbone augmenterait le volume de gaz produit.

La détermination obtenue par ce procédé n'était pas très-exacte, tant à cause de l'infraction à la loi de Mariotte offerte par le gaz carbonique que par une formation possible d'oxyde de carbone, aussi a-t-on dû chercher une autre méthode plus précise. Il était, en effet, très-important de déterminer la composition de l'acide carbonique, et par suite l'équivalent du carbone, car ce corps se rencontre dans toutes les analyses organiques. MM. Dumas et Stass entreprirent la solution de cette importante question; leur procédé repose sur le principe suivant :

On chauffe au rouge dans un tube de porcelaine un poids connu et déterminé de carbone en présence d'un courant d'oxygène pur et sec. Comme il pourrait se former de l'oxyde de carbone, on force le gaz produit à traverser un tube renfermant de l'oxyde de cuivre chauffé au rouge. Dans ces conditions l'oxyde de cuivre cédant de l'oxygène à l'oxyde de carbone le transforme en acide carbonique. On recueille ce dernier dans des tubes pesés contenant de la potasse. L'augmentation de leur poids donne la quantité d'acide carbonique résultant de la combustion du charbon.

Pour faire cette expérience, on opère sur les variétés de charbon les plus pures. MM. Dumas et Stass prenaient du diamant ou du charbon de sucre, mais comme ces matières pouvaient retenir quelque impureté, ils avaient soin de peser avant et après l'expérience la nacelle de platine contenant le charbon : ils déduisaient ensuite du premier poids celui des cendres que la nacelle pouvait renfermer à la fin de l'opération.

De nombreuses expériences, basées sur cette méthode synthétique et pondérale, ont démontré que 6 de carbone sont unis à 16 d'oxygène pou former 22 d'acide carbonique.

L'acide carbonique est formé de 2 équivalents d'oxygène et de

1 équivalent de carbone, ainsi que l'indique sa formule CO^2 : on a donc

$$\begin{array}{l} 16 = 8 \times 2 \text{ d'oxygène} \\ \ \ 6 \text{ de carbone} \\ \hline 22 \end{array}$$

Ce nombre 22 représente l'équivalent de l'acide carbonique, car c'est cette quantité qui forme les carbonates neutres avec 47 de potasse, 28 de chaux, etc.

On arrive à déterminer cet équivalent d'une façon très-facile : il suffit de calciner certains carbonates qui, sous l'influence de la chaleur, se détruisent en donnant l'oxyde métallique. Si on calcine 50 parties de carbonate de chaux $CaO.CO^2$ parfaitement pur, c'est-à-dire, la quantité qui renferme un équivalent de chaux

$$28 = 20Ca + 8O,$$

on obtient un résidu de chaux CaO pesant 28. L'acide carbonique dégagé pèse donc $50 - 28 = 22$.

La formule CO^2 correspond à 2 volumes de vapeur, car l'acide carbonique contient son propre volume d'oxygène et O^2 représente 2 volumes : or, l'on sait que toutes les fois que 2 volumes d'un gaz se combinent à 1 volume d'un autre, il y a condensation d'un tiers, ainsi que le veut la loi de Gay-Lussac.

On ne peut déterminer par l'expérience la densité de vapeur du carbone, car ce corps n'est pas sensiblement volatil, mais la composition de l'acide carbonique permet de supposer que cette densité est 0,8468, qui est le double de la différence entre la densité de l'acide carbonique et celle de l'oxygène : en effet

$$\begin{array}{lr} \text{Densité de l'acide carbonique} = & 1{,}5290 \\ \text{Eensité de l'oxygène........} = & 1{,}1056 \\ \hline & 0{,}4234 \end{array} = \frac{1}{2} \times 0{,}8468.$$

ORIGINE. — ÉTAT NATUREL.

L'acide carbonique est un des corps les plus répandus et les plus abondants dans la nature; il n'est pour ainsi dire pas d'eau qui n'en renferme une petite quantité en dissolution.

Il existe à l'état libre dans le sol, et s'exhale de la terre en quantités considérables dans certaines localités, dans certains puits, dans des galeries de mines et dans un grand nombre de grottes et de cavités souterraines : c'est surtout dans les contrées qui ont été ou sont encore le siége de volcans, telles que l'Auvergne, le Vivarais, les bords du Rhin, la Bohême, les environs de Naples.

L'acide carbonique donne aux eaux potables leur saveur et leur qualité : quand il y est dissout en proportion notable, il leur donne des propriétés médicamenteuses particulières ; telles sont les eaux de Selters, Spa, Vichy, Saint-Galmier, Vals, etc.

Les volcans laissent dégager des torrents d'acide carbonique : ce gaz s'exhale des cavernes qui les avoisinent et s'accumule en couches plus ou moins épaisses sur les parties inférieures du sol à cause de sa grande densité. J'ai déja parlé de *la grotte du Chien* qui est située sur les bords du lac Agnano, près de Naples, et des expériences que l'on y fait chaque jour pour l'amusement des touristes. La couche de gaz carbonique est haute de 60 centimètres à 1 mètre : un homme peut y pénétrer impunément, et y rester longtemps à la condition de se tenir debout, mais si l'on introduit un chien, cet animal étant plongé dans un couche de gaz irrespirable, est asphyxié inévitablement si on ne le retire bientôt. Le chien au contact de l'air reprend connaissance, revient à la vie et s'enfuit à toutes jambes. Il y a des chiens qui ont résisté pendant plusieurs années à une semblable expérience répétée 2 ou 3 fois par semaine.

Suétone rapporte que Tibère expérimentait sur des hommes, et qu'il poussait souvent l'épreuve jusqu'au bout.

En Asie, on trouve *la grotte du Typhon* qui n'est pas moins célèbre que la grotte du Chien. En France les *grottes d'Aubenas* dans le Vivarais, de *Neyrac* (Ardèche), *la Mouffette,* de Perrault, près de Montpellier, *les Etouffes,* près de Clermont, celles du mont Joly en Auvergne offrent le même phénomène et les envirous de ces localités sont souvent remarquables par leur belle et luxuriante végétation. En Italie on trouve les *Molfettes* de la Campanie, les cavernes de *Bolsenna* dans les Etats romains.

Près de la ville d'Aigueperse, il y a une source de cette espèce que l'on connaît sous le nom de *source empoisonnée.* C'est un trou arrondi placé au milieu d'un petit enforcement de terrain, et d'où il sort continuellement une énorme quantité de gaz. Ordinairement cette cavité contient de l'eau bourbeuse à travers laquelle le gaz se dégage sous forme de grosses bulles, qui, en crevant à la surface, font entendre un bruit que l'on perçoit à la distance de 5 à 6 mètres. La végétation la plus riche entoure cette source dangereuse ; tous les oiseaux, les petits quadrupèdes, les insectes, qui sont attirés par la fraîcheur du feuillage, tombent asphyxiés ; aussi le sol est-il sans cesse jonché de cadavres dans un rayon assez étendu. Les bergers ont grand soin d'en écarter leurs troupeaux.

Une source d'acide carbonique non moins curieuse existe dans les bois qui entourent le lac Laacher, sur les bords du Rhin. Le gaz se fait jour silencieusement à travers le sol et vient aboutir dans une espèce de fosse de 6 à 9 décimètres de profondeur, pratiquée dans la terre au milieu des broussailles. Lorsque l'air est calme, la cavité se remplit presque entièrement d'acide carbonique. Le fond du trou est couvert de débris de petits animaux, les insectes et les fourmis y arrivent en grand nombre pour chercher leur nourriture, mais privés d'air, ils y périssent pour la plu part : les oiseaux à leur tour, apercevant l'appât trompeur viennent se prendre au même piège. Les

bûcherons connaissent fort bien cette manœuvre, aussi visitent-ils souvent cet endroit pour tirer partie d'une chasse dont la nature fait tous les frais.

Le gaz carbonique qui se dégage des sources minérales carbo-gazeuses reste pendant quelque temps au-dessus du liquide, surtout quand l'air est calme. Les oiseaux qui viennent alors raser la surface des eaux, tombent souvent asphyxiés : c'est ce qui arrive dans plusieurs endroits des marais Pontins, sur l'antique Cocyte, sur l'Averne, et dit-on, sur les bords de la mer Morte.

A Marienbad, en Bohême, on remarque à un endroit, d'où le gaz carbonique s'échappe de la terre, une sorte de brouillard très-visible le matin et le soir : la couche de gaz qui se trouve mélangé avec l'air, a deux mètres d'épaisseur environ. Plusieurs fois des oiseaux ont été asphyxiés en voulant traverser cette couche gazeuse. Le courant de gaz qui s'échappe de la terre par une fissure, est assez fort pour faire tournoyer une petite pièce de monnaie.

A Neyrac (Ardèche) un puits à demi comblé présente les mêmes effets.

En Allemagne, près de certaines sources qui fournissent du gaz carbonique en grande abondance, on a construit des établissements spéciaux où l'on administre des bains et des douches d'acide carbonique. A Nauheim, la quantité de gaz qui se dégage de la source est évaluée à 3 ou 4,000 mètres cubes par jour.

En France on trouve un grand nombre de souces minérales et de localités dans lesquels l'acide carbonique existe en grande abondance.

Le sol arable laisse dégager continuellement du gaz carbonique ; la quantité varie suivant la nature et la proportion des engrais que l'on y a ajoutés. Une terre argileuse, engraissée avec une forte proportion de fumier de ferme et de tourteau a donné en 24 heures, 15 litres 70 centilitres de gaz carbonique par mètre carré de surface, ce qui équivaut à 1570 hectolitres de gaz par hectare (1).

(1) M. Corenwinder, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1855; t. II.

A l'état solide, l'acide carbonique entre pour plus d'un tiers dans la composition des roches ou pierres calcaires, des marbres, des marnes, de la craie, etc., qui forment l'écorce du globe terrestre.

L'air atmosphérique contient naturellement une petite quantité de gaz acide carbonique, car la combustion, la respiration, la fermentation alcoolique et le putréfaction en émettent chaque jour des quantités considérables. M. Boussingault a déterminé approximativement la proportion d'acide carbonique qui se produit à Paris en vingt-quatre heures. Il est arrivé aux résultats suivants.

	Mètres cubes.
Par la population...........	336.777
les chevaux............	132.370
les bois à brûler........	855.385
le charbon de bois......	1.250.700
la houille..............	314.215
l'huile à brûler.........	58.401
le suif ou les chandelles.	25.722
la cire des bougies......	1.041
	2.974.641

La proportion en poids de l'acide carbonique contenu dans l'air oscille ordinairement entre 2 à 6 dix-millièmes. MM. Boussingault et Lévy ont vu qu'à Paris cette proportion s'élève à 3,17/10000, tandis qu'à Andilly, près de Montmorency, elle descend à 2,98/10000.

La quantité que l'on trouve dans l'air est variable : par les temps pluvieux, elle est moindre, car l'acide carbonique est soluble dans l'eau. Que devient cet acide carbonique entraîné par la pluie ? Il passe avec l'eau dans les fleuves, puis dans les mers. Là cet acide gazeux s'unit à la chaux pour former le carbonate de chaux qui s'accumule au fond des eaux : les pierres calcaires, les marbres en sont formés. Ce carbonate pénètre aussi dans une foule d'animaux pour en constituer l'enveloppe : tels sont les madrépores, les polypiers. L'agglomération de leurs débris forme les brisants, les récifs, et des contrées

tières : les îles de l'Océanie n'ont pas d'autre origine (*Traité de chimie de* M. Riche).

La proportion d'acide carbonique dans l'air est moindre le jour que la nuit; car, ainsi que je le dirai plus loin, les parties vertes des végétaux détruisent l'acide carbonique sous l'influence de la lumière.

Il est facile de constater la présence de l'acide carbonique dans l'air atmosphérique. Il suffit pour cela d'exposer au contact de l'air libre, pendant plusieurs jours, de l'eau de chaux placée dans une large capsule. Il se forme bientôt à la surface du liquide une pellicule blanche et terreuse constituée par du carbonate de chaux : ce corps fournit par la calcination un gaz qui n'est autre que le gaz carbonique. Cette expérience, que l'on doit à Blach, a été répétée à toutes les hauteurs de l'atmosphère; au sommet du Mont-Blanc, à 4,797 mètres d'élévation, par Saussure père: sur de l'air pris par l'aéronaute Garnerin à la hauteur de 1,390 mètres environ : on a démontré ainsi que l'acide carbonique existe également dans les régions élevées de l'atmosphère.

Outre les pluies, il est d'autres causes qui amènent une diminution de la proportion de l'acide carbonique qui existe dans l'air; le dégel agit dans ce sens. Au-dessus des grands lacs, la proportion est moindre qu'à la surface de la terre. La différence est de 0,5 sur 10,000 portions d'air.

Dans les lieux habités, au contraire, la proportion augmente (1);

(1) Lavoisier avait annoncé que l'air des salles d'hôpitaux et des théâtres renferme de 1.5 à 3 p. 100 d'acide carbonique. Des analyses plus récentes ont fait découvrir à la Pitié $\frac{3}{1000}$ d'acide carbonique; à la Salpêtrière $\frac{6 \text{ à } 8}{1000}$; dans une salle d'asile $\frac{3}{1000}$; dans un théâtre $\frac{4}{1000}$; dans la chambre des députés après deux heures et demie de séance $\frac{5}{1000}$.

Il faut reconnaître comme un fait d'expérience que la proportion d'acide carbonique dans les lieux habités et fermés croît avec le degré d'insalubrité et qu'elle en peut fournir pour ainsi dire la mesure. Plus la dose d'acide carbonique est élevée, plus la nécessité du renouvellement de l'air doit être considérée comme prochaine.

sur les montagnes élevées la quantité ne paraît pas varier pendant le jour et la nuit.

La combustion du bois, du charbon, de l'huile, du suif, de la cire et d'une foule d'autres corps organiques produit une quantite considérable d'acide carbonique. Un kilogramme de charbon, en brûlant, convertit en acide carbonique la totalité d'oxygène contenu dans 9 mètres cubes d'air.

L'acide carbonique existe dans le sang à l'état libre ou à l'état de combinaison : dans ce dernier cas, il forme des bicarbonates solubles dans ce liquide. Il se trouve également dans la bile, dans l'urine, et c'est au dégagement de ce gaz qu'on doit attribuer en partie l'écume ou la mousse qui a lieu au moment de l'émission.

La présence du gaz carbonique dans le sang veineux a été démontrée par Vogel, Brande et Home, au moyen de la machine pneumatique. Plus tard, Enschutt prouva que le sang veineux est plus riche en acide carbonique que le sang artériel. MM. Robin et Verdeil estiment que ce gaz occuperait à l'état gazeux un espace variant du tiers au cinquième du milieu occupé par le sang. D'après M. Claude Bernard, c'est surtout dans le plasma que se trouve l'acide carbonique.

Voici quelques chiffres donnés par ce célèbre physiologiste, qui indiquent dans quels rapports se trouvent les gaz du sang. Il y a de 50 à 60 volumes de gaz dissout dans 100 volumes de sang, sur lesquels on peut trouver comme limites extrêmes : dans le sang artériel, 25 pour 100 d'oxygène ; dans le sang veineux jusqu'à 30 pour 100 d'acide carbonique. Quant à l'azote, dans l'un comme dans l'autre sang, il ne dépasse pas 8 pour 100. (Cours de M. Claude Bernard au Collège de France, 1870.)

DOSAGE DE L'ACIDE CARBONIQUE.

Le dosage de ce gaz est une opération délicate qui exige une cer-

taine habitude de ces sortes d'analyses. Ainsi, par exemple, si l'on fait chauffer de l'eau minérale gazeuse pour en extraire le gaz carbonique libre, on décompose par la chaleur les bicarbonates qui s'y trouvent, et l'on obtient tout à la fois l'acide libre et l'acide combiné aux bases. Les procédés en usages sont nombreux; je vais passer rapidement en revue les principaux d'entre eux.

M. Gaultier de Claubry a proposé de faire passer à travers le liquide à essayer, un courant d'air ou de gaz hydrogène, qui déplace l'acide libre et ne décompose pas les bicarbonates (1). Les bicarbonates de chaux, de magnésie, et de manganèse résistent à l'action de ce courant; mais il n'en est pas de même du bicarbonate de fer; le degré d'oxydation de ce carbonate n'étant pas toujours le même, le courant d'air peut transformer le protoxyde en sesquioxyde, et les proportions d'acide carbonique peuvent varier par cela même et ne plus représenter exactement l'état d'oxydation du fer dans l'eau. L'hydrogène, sans avoir cet inconvénient, détermine, à un moment donné et après avoir chassé l'acide carbonique en excès, une précipitation de carbonate, d'où il résulte qu'il faut arrêter le courant d'hydrogène à l'instant où une bulle détermine un léger trouble dans le liquide.

M. Jaquelain dose l'acide carbonique libre ou combiné en le précipitant au moyen d'un excès d'eau de chaux (2); on recueille le carbonate formé en le maintenant à une douce ébullition pendant une heure, on le sèche lentement et on le pèse.

M. Abich dose l'acide carbonique libre des eaux au moyen du chlorure de baryum ammoniacal : on obtient un précipité de carbonate de baryte, que l'on n'a plus qu'à sécher et peser.

M. Buignet a indiqué un procédé très-élégant et très-exact pour le dosage des gaz, et en particulier de l'acide carbonique, tenus en

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1859, t. XLVIII.

(2) *Méthode générale d'analyse des eaux fluviales*, 1864, Paris.

(2) *Nouveau procedé de dosage de l'acide carbonique*, par M. Buignet, professeur à l'école de pharmacie de Paris.

dissolution dans les eaux minérales; son appareil se compose de deux tubes barométriques, plongeant dans un vase plein de mercure, et maintenus parallèlement dans la position verticale. Un de ces tubes, divisé en centimètres et millimètres, sert à faire connaître la pression atmosphérique; l'autre tube porte, en outre de cette graduation, des divisions de capacité représentant des centimètres et dixièmes de centimètres cubes. C'est dans ce tube que se fait l'analyse. On y met du mercure en laissant un espace libre d'environ 20 centimètres cubes que l'on remplit avec un poids connu de l'eau à analyser. On renverse le tube sur la cuvette à mercure Le mercure descend pendant un certain temps, ayant au-dessus de lui l'eau, et par-dessus le vide; l'acide carbonique dissout dans l'eau se dégage, mais non complétement, car l'atmosphère qui s'est formée dans la chambre barométrique exerce sur le liquide une certaiue pression qui retient en dissolution un peu de gaz. Cette quantité varie suivant les circonstances de température et de pression indiquées par le baromètre et le thermomètre joints à l'appareil: on peut, à l'aide de la table dressée par M. Bunsen déterminer ce que les 20 centimètres cubes de liquide retiennent d'acide carbonique. On arriverait au même résultat au moyen de l'équation suivante posée par M. Buignet :

$$V^{o} = \frac{V\ H}{760(1+at)} + v\,\alpha\,\frac{H'}{760}$$

V^{o} représente le volume du gaz libre, à 0° de température, et 760 millimètres de pression; V le volume du gaz dégagé avant les corrections; H, la pression à laquelle il se trouve dans l'intérieur du tube; v, le volume de la petite colonne d'eau minérale; α, le coefficient de solubilité de l'acide carbonique pour la température t; H', la pression du gaz resté en dissolution dans l'eau.

On peut constater la pureté du gaz dégagé en introduisant dans le tube un petit morceau de liége sur lequel serait fixé un peu de po-

tasse caustique. L'acide carbonique sera absorbé intégralement, tandis que l'azote, l'oxigène, ou quelque autre gaz resterait comme résidu.

Enfin, en 1868, M. Barthélemy (1) a indiqué un autre procédé qui repose sur les données suivantes :

1° Le protoazotate de mercure, versé dans une dissolution de bicarbonate alcalin ou alcalino-terreux, forme du carbonate de byoxyde qui se redissout dans un excès de réactif en formant de l'azotate de bioxyde.

2° La quantité d'azotate acide qu'il faut employer pour obtenir le précipité et le redissoudre est proportionnée à la quantité de bicarbonate, au degré de concentration du réactif et à la quantité d'acide carbonique engagé dans la dissolution.

On peut ainsi doser par la méthode volumétrique l'acide carbonigue combiné dans les bicarbonates et les eaux minérales naturelles.

La même année, M. Lory (2) indiquait un autre réactif : le phosphate de cuivre dissout dans u léger excès d'acide chlorhydrique. Quand on verse ce réactif dans une eau contenant des bicarbonates, il se forme un nuage bleuâtre. En continuant, le trouble se redissout dans l'excès acide, et l'on saisit très-nettement le moment où l'eau redevient parfaitement limpide. En s'arrêtant à ce point, la quantité du réactif employé sera évidemment proportionnelle à l'équivalent total des bases, et par conséquent à la quantité d'acide carbonique qui leur est uni à l'état de bicarbonate.

PRÉPARATION.

On obtient artificiellement l'acide carbonique gazeux ·

(1) *Annales de physique et de chimie*, 1868.
(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 27 juillet 1868.

1° En faisant brûler du charbon dans un excès d'air ou d'oxygène;

2° En soumettant à la calcination le carbonate de chaux qui perd par la chaleur son acide carbonique et donne de la chaux vive;

3° En décomposant un carbonate par un acide;

4° Par la fermentation.

Dans les laboratoires on l'obtient en décomposant le marbre blanc par de l'acide chlorhydrique étendu; la réaction a lieu en vertu de l'équation suivante :

$$CaO\,CO^2 + HCl = CaCl + CO^2 + HO.$$

On peut le préparer plus avantageusement en décomposant le calcaire par l'acide sulfurique. Dans ce cas, on a

$$CaO\,CO^2 + SO^3, HO = CaO\,SO^3 + CO^2 + HO.$$

Seulement pour empêcher que le sulfate de chaux peu soluble dans l'eau ne se dépose sur le calcaire et n'arrête la décomposition, il faut avoir soin d'agiter sans cesse.

Dans la fabrication des eaux gazeuses, on fait agir l'acide sulfurique sur de la craie réduite en poudre. L'acide chlorhydrique ici ne pourrait être employé, car, étant plus volatil, il serait entraîné en partie par l'acide carbonique, et les dégagements se faisant trop rapidement, les flacons laveurs ne pourraient le retenir complétement.

Les eaux gazeuses se font par deux procédés différents :

Le premier est un système de fabrication continue dans lequel une pompe aspirante et foulante vient puiser dans des réservoirs séparés l'eau et l'acide carbonique pour les refouler ensuite dans un appareil fermé sous une pression de 4 à 6 atmosphères.

Le second procédé est un système intermittent dans lequel l'acide

carbonique est produit dans l'appareil même où doit se faire la saturation et se dissout dans l'eau en raison de la pression qu'il exerce sur ce liquide.

Dans ces deux cas, l'acide carbonique est obtenu par l'action de l'acide sulfurique sur la craie.

M. Ozouf, fabricant d'eaux minérales, a appliqué en 1866 le procédé de préparation d'acide carbonique employé dans les préparation de la céruse, à Clichy (1) : on décompose la pierre calcaire concassée (20 p) à l'aide du coke (12 p.) dans un petit four à chaux.

Le courant carbonique traverse une solution de carbonate de soude qui devient bicarbonate. Ce solutum bicarbonate étant chauffé, redevient carbonate simple en perdant un équivalent d'acide carbonique, qui est emprisonné dans un gazomètre, d'où il est refoulé dans l'eau destinée à devenir gazeuse. On peut ensuite le carbonater de nouveau après refroidissement; et ainsi peut marcher cette chaîne sans fin.

On obtiendrait une source analogue d'acide carbonique, en calcinant le carbonate de magnésie et en le recarbonatant par un courant sortant d'un foyer à coke avec le concours de la vapeur d'eau.

On prépare l'eau gazeuse sur les tables au moyen de l'appareil Briet que tout le monde connaît : on obtient le gaz carbonique au moyen du bicarbonate de soude et de l'acide tartrique : la réaction n'a lieu que si l'appareil est fermé, en outre la présence de l'eau est indispensable.

$$\underset{\text{Acide tartrique.}}{C^8H^4O^{10}2HO} + 2(NaOHO.2CO^2) = \underset{\text{Tartrate de soude.}}{2NaOC^8H^4O^{10}} + 4CO^2 + 4HO.$$

Pour 1 litre d'eau, on met 15 gr. d'acide tartrique et 18 gr. de bicarbonate de soude. Ces quantités sont suffisantes et peuvent être adoptées, cependant dans la pratique usuelle on augmente de 3 gr. chacune de ces doses.

(1) *Journal de pharmacologie*, 1866.

APPLICATIONS INDUSTRIELLES.

L'acide carbonique est principalement employé pour la fabrication des limonades et des eaux gazeuses, connues sous le nom d'eaux de Seltz.

Dans l'industrie, il s'applique à plusieurs usages, notamment à la préparation des carbonates et bicarbonates, du blanc de céruse, des vins mousseux; à la décomposition du sucrate de chaux dans l'extraction du sucre de betterave, des hypochlorites dans le blanchiment, etc.

Bicarbonate de soude. — On le prépare en exposant pendant plusieurs jours du carbonate de soude concassé et humide, à l'action du gaz carbonique qui se dégage artificiellement ou naturellement comme des eaux minérales gazeuses de Vichy.

On peut encore suivre le procédé indiqué en 1830 par le pharmacien américain Smith, qui consiste à faire arriver du gaz carbonique lavé dans des caisses de bois ou de cuivre. Le gaz ne peut sortir qu'en soulevant une colonne d'eau de 32 à 64 centimètres, aussi sature-t-il le carbonate.

Quelquefois on prépare simultanément le bicarbonate de soude et le sulfate de magnésie en faisant réagir l'acide sulfurique sur la dolomie ou carbonate double de chaux et de magnésie.

C'est ce bicarbonate de soude qui, mélangé à du sucre et de la gomme, puis aromatisé, constitue les pastilles digestives de Darcet ou de Vichy. Ces pastilles sont employées pour saturer l'excès d'acide carbonique qui parfois existe dans l'estomac : elles y dégagent en même temps une certaine quantité d'acide carbonique qui lui donne du ton, de la chaleur et favorise la digestion.

Blanc de Céruse. — Le carbonate neutre de plomb ou céruse est

obtenu en faisant passer un courant de gaz carbonique à travers une dissolution de litharge dans l'acide acétique (procédé de Roard, de Clichy, de Thénard, etc.). On produit l'acide carbonique soit par la combustion du charbon, soit par la décomposition de la craie en morceaux et du coke à l'aide de la chaleur. Le gaz produit par la décomposition de la craie est aspiré au moyen d'un appareil ventilateur, appelé cagniardelle, et injecté dans la dissolution plombique.

Fabrication du sucre. — La défécation a pour but d'enlever au jus de betteraves, une grande partie des matières étrangères qu'il contient. La chaux que l'on emploie à cet effet, opère cette séparation en donnant du sucrate de chaux. Dans cette combinaison, le sucre n'est pas altéré, et on l'en extrait à l'état de pureté en faisant passer dans la dissolution du sucrate un courant de gaz carbonique provenant de la combustion du charbon. L'acide carbonique décompose le ucrate de chaux et donne lieu à un précipité abondant de carbonate calcaire qui se dépose.

Préparation du pain. — M. Dauglish a fait connaître un nouveau procédé de panification qui est appliqué en Angleterre sur une grande échelle, et dans lequel on supprime la fermentation et l'emploi du levain. Voici en quoi il consiste : on introduit la farine dans le pétrin constitué par un vase sphérique de fonte, puis on y fait arriver peu à peu et environ les six dixièmes du poids de la farine, de l'eau chargée d'acide carbonique sous une pression de 7 à 8 atmosphères. On opère le mélange au moyen d'un agitateur à palettes mis en mouvement par un moteur mécanique, après quinze minutes d'agitation, on ouvre une bonde, et l'acide carbonique chasse la pâte sous forme d'une masse que l'on découpe et que l'on enfourne.

Cette méthode n'exige ni levain, ni levûre : la fabrication est entièrement mécanique et elle est plus propre, car le brassage à la main y est remplacé par un agitateur mécanique. De plus on n'a pas d'al-

tération de farine occasionnée par la fermentation comme dans l'ancien procédé; enfin le pain est, dit-on, plus blanc (1).

Emploi de l'acide carbonique comme force motrice. — En 1824, M. Cameron a indiqué l'application possible du gaz carbonique comprimé, comme un élément automoteur. H. Davy pensa qu'on pourrait substituer à la vapeur d'eau l'usage de certains gaz comprimés et dilatés par la chaleur. M. Brunel a réalisé cette idée.

M. Brunel, célèbre par sa construction du pont sur la Tamise, inventa une machine dans laquelle l'acide carbonique liquide, alternativement raréfié par la chaleur et condensé par le froid, peut développer une force motrice considérable. L'acide carbonique liquéfié est renfermé dans deux cylindres qui communiquent, l'un avec la partie supérieure, l'autre avec la partie inférieure d'un corps de pompe garni d'un piston. Si l'on échauffe cet acide, la pression résultant de son expansion est égale à celle de 90 atmosphères; et, comme elle agit sur un piston qui ne résiste qu'avec la force de 30 atmosphères, si l'on suppose la température de 0 degré, la puissance motrice est égale à la différence, c'est-à-dire 60 atmosphères.

On conçoit qu'en échauffant et refroidissant alternativement l'acide carbonique on obtient un mouvement alternatif dont la force constante, dans l'hypothèse citée, est égale à 60 atmosphères. Malheureusement l'acide carbonique liquide fait facilement explosion par la moindre élévation de température; aussi faudra-t-il trouver des appareils capables de résister à la haute tension de sa vapeur pour produire des effets bien autrement prodigieux que ceux de la machine à vapeur.

L'azote et surtout l'hydrogène, à l'état liquide, exerceraient sans aucun doute une action plus puissante encore que l'acide carbonique (M. Girardin).

(1) M. Payen. *Bulletin des séances de la Société impériale d'agriculture, 1862-1863.*

EFFETS PHYSIOLOGIQUES.

En application locale et de courte durée, le gaz acide carbonique produit des effets excitants et stimulants sur la peau, les membranes muqueuses, les muscles et les nerfs ; il agit aussi comme antiseptique. Si le contact est prolongé, l'action devient plus vive et plus irritante; le gaz est absorbé par la peau, et il y a engourdissement, puis anesthésie.

L'acide carbonique produit d'autres effets secondaires; outre l'excitation générale, il peut survenir un trouble profond dans les fonctions de la respiration et de la circulation, et l'asphyxie peut même s'ensuivre. J'étudierai plus loin cette question, pour le moment je me bornerai à résumer les effets suivants produits par le contact du gaz carbonique avec la surface extérieure du corps :

Sensation particulière de chaleur ;
Transpiration abondante ;
Désinfection des plaies et des ulcères ;
Diminution de la douleur :
Stupeur, engourdissement, insensibilité de la peau.

M. le docteur Herpin avait annoncé cette sensation de chaleur, et M. Boussingault a confirmé ce fait d'une manière péremptoire. Il rapporte que dans ses voyages aux Cordillières, il a eu l'occasion de pénétrer plusieurs fois dans les soufrières de la Nouvelle-Grenade, où se dégage une grande quantité de gaz carbonique. Cet illustre savant rapporte dans une note lue à l'Académie des sciences, à propos du mémoire de M. Herpin, qu'il a éprouvé là une sensation extraordinaire de chaleur qu'il évalue à 45° centigrades, tandis que, à sa

grande surprise, le thermomètre n'accusait que 19°. Voici un extrait de la communication de M. Boussingault (1) :

« Je descendis dans une excavation, faite à la surface du sol, de 1m7 de profondeur, avec un tube gradué pour recueillir le gaz et un thermomètre. En descendant et pendant le temps très-court que j'employai à établir les instruments, je ressentis une chaleur suffocante, que j'évaluais à 40° cent., et un picotement très-vif dans les yeux. Mon visage était devenu fortement coloré, et quand je sortis je transpirais abondamment.

« Après que les instruments eurent séjourné pendant une heure dans l'excavation, je redescendis pour les en retirer. J'éprouvai précisément la même sensation pénible occasionnée par la chaleur, le même picotement dans les yeux ; mais quelle ne fut pas ma surprise lorsque je reconnus que le thermomètre indiquait seulement 19°05. Au même instant, M. Goudot, qui m'accompagnait, lisait 22°,02 sur un thermomètre exposé à l'air libre et à l'ombre Ainsi l'atmosphère dans laquelle, d'après mes sensations, j'avais éprouvé une chaleur accablante, était en réalité moins chaude que l'atmosphère ordinaire.

« Une analyse, faite sur place, m'a donné pour la composition du gaz que j'avais puisé dans l'excavation :

Acide carbonique.........	95
Air atmosphérique.........	5
Acide sulfhydrique........	traces
	100

« Une fois, pour aller à la soufrière, il me fallut traverser un torrent dont les eaux étaient assez froides. En sortant du torrent, je m'empressai de me réchauffer en prenant un bain froid de gaz acide carbonique; j'en éprouvai l'effet le plus agréable. »

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1855, t. XL.

Ces diverses propriétés du gaz carbonique l'ont fait employer sous forme de bains, de douches, dans le traitement des diverses maladies. Ses propriétés analgésiques paraissent avoir été connues des anciens : Pline (1), le naturaliste, nous apprend (*Histoire naturelle,* livre V), « que la poudre d'un marbre d'Égypte, appelé memphitis, mélangée à du vinaigre, endort tellement les parties sur lesquelles on l'applique, que l'on peut couper et cautériser sans que la malade éprouve aucune douleur (*obstupescit ita corpus, nec sentit cruciatum*). »

Dioscoride rappelle le même fait, et dit que cette pierre est de la grosseur d'un talent, grasse et de couleurs variées. On la trouve près du grand Caire.

On a employé, dès la plus haute antiquité, les cataplasmes faits avec le levain, la drèche, le ferment ou la levure de bière, etc., pour le pansement des plaies douloureuses. Ces substances dégagent de l'acide carbonique, et c'est très-probablement à son action analgésique qu'il faut attribuer les bons effets obtenus (2).

Hippocrate, Galien, Paul d'Egine, etc., prescrivaient la fumée des plantes en combustion pour diminuer et calmer les douleurs utérines. Les bains de marc de raisin étaient aussi en grande réputation contre les paralysies.

Plus tard, Percival, sur les conseils de Priestley, puis Ingenhousz, vérifièrent ces propriétés analgésiques de l'acide carbonique par de nombreuses et concluantes expériences. Plus récemment,

(1) Il est probable que c'est à des exhalaisons de gaz carbonique que Pline a dû la mort le 11 août de l'an 79, jour de l'éruption du Vésuve, qui a enseveli la ville de Pompéia sous les cendres. Pline voulut aller observer l'éruption. Après avoir parcouru les environs du volcan et se trouvant fatigué, il fit étendre sur la terre, dans un endroit un peu creux, un tapis sur lequel il se coucha pour se reposer ; mais à peine était-il couché qu'il voulut se relever, se sentant sans doute mal à son aise. Il fit des vains efforts et retomba. Ses domestiques, au lieu de lui porter secours, eurent peur et s'enfuirent. Le lendemain, on trouva l'illustre naturaliste dans l'endroit où il s'était couché, ayant l'apparence d'un homme endormi : ses traits ne présentaient aucune altération. (*Lettres de Pline-le-Jeune à Tacite,* liv. II, lett. 16.

MM. Maisonneuve, à la Pitié, Claude Bernard et Broca, à la Charité, ont obtenu par l'emploi de l'acide carbonique des résultats qui confirment les bons effets de cette médication. C'est cette influence favorable à la cicatrisation des plaies qui explique l'efficacité du remède populaire aux États-Unis, qui consiste à appliquer sur les plaies, une pâte faite de cendres et de vinaigre recouverte et maintenue par un bandage (Demarquay et Leconte).

L'acide carbonique est employé sous deux formes, gazeux ou en dissolution dans l'eau.

On a également administré, sous le nom de potion de Rivière, des substances propres à dégager de l'acide carbonique dans l'estomac, dans le cas de gastralgies et de vomissements opiniâtres.

A l'état gazeux, on administre l'acide carbonique à l'extérieur en bains, en douches et injections, et à l'intérieur en inhalation.

Dissout dans l'eau, on le donne sous forme de bains, douches, lotions, injections et à l'intérieur comme boisson et gasgarisme.

Le bain de gaz carbonique sec fait éprouver immédiatement une sensation particulière et vive de chaleur : on ressent ensuite un fourmillement, un picotement à la peau. (Cette sensation n'est pas produite par le bain humide.) En même temps la transpiration se manifeste et devient abondante. La peau rougit faiblement et les nerfs sont excités. (M. Piderit.)

A l'intérieur on administre le gaz carbonique par les voies alimentaires, déglutition; et par les voies respiratoires, inhalation. L'inhalation est pratiquée dans les maladies des voies respiratoires, ou comme moyen anesthésique. M. le docteur Herpin conseille « de déterminer l'anesthésie par le chloroforme, puis de continuer l'effet anesthésique au moyen du gaz carbonique mélangé avec beaucoup d'air (80 ou 90 pour 100 d'air) De cette façon, on éviterait les dangers et les inconvénients que présente l'emploi du chloroforme seul, car on pourrait graduer à volonté la force du mélange de gaz carbonique et d'air, et par conséquent graduer aussi l'intensité de l'action

anesthésique; et surtout en prolonger indéfiniment la durée sans mettre en danger la vie du malade (1). »

M. Fordos a fait connaître un appareil, qu'il nomme gazo-injecteur, pouvant varier à la fois de formes et de disposition, au moyen duquel on peut donner des douches ou des injections soit d'acide carbonique pur, soit de ce gaz chargé de vapeurs de chloroforme ou de tout autre liquide volatil.

Dans une carafe fermée d'un bouchon en étain, se trouve un étui percé à jour, et contenant des morceaux d'éponge que l'on peut imbiber de chloroforme. Au bouchon s'adapte un tube en caoutchouc terminé par une canule. On met au fond de la carafe de l'acide tartrique en cristaux, du bicarbonate de soude et de l'eau. Le gaz carbonique résultant se charge de chloroforme en traversant les éponges et l'entraîne avec lui.

« Par l'emploi simultané des deux composés doués de propriétés anesthésiques, dit M. Réveil, on produit l'anesthésie plus promptement et plus sûrement. L'anesthésie est produite plus promptement qu'avec l'acide carbonique seul, et présente plus de durée. »

L'acide carbonique est encore employé à l'intérieur dans les affections spasmodiques et névralgiques du poumon. Pour cet usage, M. Mathieu a construit récemment, sur les indications de M. A. Le Play, un pulvérisateur qui permet à l'air de se mêler à l'acide carbonique pendant l'aspiration, de telle sorte qu'on n'a à craindre ni accident, ni malaise.

ASPHYXIE PAR L'ACIDE CARBONIQUE.

Quand on respire un air trop fortement chargé d'acide carbonique, on éprouve au bout d'un certain temps un malaise particulier que

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1858.

l'on ne fait cesser qu'en renouvelant l'air (1). Ce fait, connu de tout le monde, a pour cause la viciation de l'air par l'acide carbonique. Il existe de nombreux exemples qui viennent confirmer les inconvénients et les dangers d'un air confiné : J'en citerai quelques-uns des plus frappants.

Dans la guerre des Indes, cent quarante-six Anglais avaient été faits prisonniers par les Indiens. Ils furent renfermés dans une petite salle de 20 pieds carrés, où la lumière et l'air n'arrivaient que par deux soupiraux donnant sur un corridor. Les prisonniers ne tardèrent pas à se sentir pris de suffocation et du besoin de respirer : la chaleur s'était considérablement accrue. Tous ces malheureux, tourmentés par une soif intense, éprouvant un douloureux serrement à la gorge et aux tempes, se pressèrent en foule vers les deux ouvertures. Quelques-uns se cramponnaient aux barreaux, se soulevaient à force de bras et aspiraient quelques bouffées d'air pur. Mais bientôt arrachés de ce poste de salut par leurs compagnons, ils étaient repoussés et foulés aux pieds : les plus robustes triomphèrent. Le lendemain, au bout de huit heures, il n'y avait plus que 23 prisonniers vivants.

Un fait analogue s'est produit en France. Après Austerlitz, on dirigeait sur nos frontières 300 prisonniers autrichiens : on les enferma dans une cave très-exiguë pour leur faire passer la nuit. 260 de ces malheureux périrent asphyxiés et les quarante qui respiraient encore furent trouvés tellement faibles qu'il fut impossible de leur faire continuer leur marche.

(1) D'après M. Lortet, professeur à la Faculté des sciences de Lyon, les malaises connus sous le nom de *mal des montagnes* seraient dûs non seulement au refroidissement considérable du corps, mais aussi à une viciation du sang par l'acide carbonique. En effet, l'exhalation gazeuse, bien que très activée, n'est plus suffisante, vu la raréfaction de l'air, pour maintenir la composition normale du sang qui reste sursaturé de CO^2 ; de là, la céphalalgie occipitale, les nausées, une somnolence irrésistible et un refroidissement encore plus considérable dont souffrent ordinairement les voyageurs à partir de 4,000 ou 5,000 mètres d'altitude.

Nos guerres d'Afrique ont offert un épisode du même genre. En 1845, le colonel Pélissier poursuivait une colonne d'Arabes, qui ne trouvant d'autre refuge, alla s'enfermer dans une caverne pourvue d'une seule entrée. L'ordre fut donné de jeter à l'entrée de la caverne des brandons de paille enflammée. On pensait que la fumée et la viciation de l'air forceraient les Arabes à sortir de leur retraite. Pas un ne s'échappa : et quand on pénétra quelques heures après dans les détours de la caverne, on y trouva 500 cadavres. L'air altéré par la combustion et aussi par la respiration des prisonniers, s'était changé pour eux en un poison mortel. (Louis Figuier.)

Enfin, voici un autre fait bien étrange. Les écrivains anglais assurent que, dans une séance de la cour d'assises d'Oxford, juges et accusés, gardiens et auditeurs, furent frappés d'une asphyxie subite et mortelle. L'altération de l'air produite par une agglomération considérable d'individus dans une salle étroite, et dont toutes les issues étaient fermées, avait provoqué cet étonnant résultat.

On peut donc être surpris par l'asphyxie avant que la moindre impression douloureuse ait averti du péril : sans cela les nombreuses personnes réunies dans cette salle se seraient empressées de se dérober au danger.

L'asphyxie résulte de l'obstacle apporté à l'hématose, c'est-à-dire, à la substitution dans les poumons, de nouvel oxygène à l'acide carbonique, dont le sang s'est chargé pendant son passage à travers les organes. Le sang hématosé est devenu rouge, et a seul la propriété de nourrir les organes et d'entretenir l'innervation; c'est dans les globules du sang que s'effectue le changement de couleur.

L'acide carbonique ne paraît pas avoir d'action toxique par lui-même, mais il empêche l'action de l'oxygène sur les globules du sang et, par là même, s'oppose à la fonction de la respiration.

Si on fait arriver dans les deux poumons de l'air chargé d'acide carbonique, même en présence d'un excès d'oxygène, l'animal meurt,

tandis que si on permet à l'échange des gaz de se faire, l'animal résiste. On peut faire cette expérience en faisant arriver par un poumon de l'acide carbonique et par l'autre de l'air : ces deux gaz étant différents, et la condition est indispensable, l'échange a lieu et l'animal revient à la vie. On peut encore injecter directement de l'acide carbonique dans les veines, ce gaz sera expiré rapidement sans résultats fâcheux pour l'animal.

Il faut se garder d'entrer dans les cavités souterraines fermées depuis longtemps, dans l'appartement où quelqu'un a été asphyxié, dans les caves, les celliers qui contiennent du vin nouveau, de la bière en fermentation, avant de s'assurer qu'une bougie peut y brûler. Si la flamme languit ou s'éteint, c'est que l'air est chargé d'acide carbonique, et il faut se retirer. On doit ouvrir au large les portes, les fenêtres ou les soupiraux du local et renouveler l'air par les divers moyens usités : en outre, il est bon de détruire une partie du gaz en l'absorbant par des lessives alcalines ou un lait de chaux. Pour cela, il suffit d'arroser avec de l'eau deux ou trois kilogrammes de chaux vive. Quand elle est réduite en poudre, on la délaye dans de l'eau et on jette ce mélange dans les lieux chargés de gaz méphitique. On pourrait remplacer la chaux par la potasse ou la soude caustique dissoute dans l'eau.

On connaît plusieurs appareils respiratoires, destinés à permettre de pénétrer avec sécurité dans les lieux viciés par l'acide carbonique ; ces appareils ont pour but de faire arriver un air pur dans les poumons de l'individu plongé dans un milieu délétère. Tels sont les appareils de Pilâtre des Roziers, de Humboldt, etc.

M. Hubbart, de New-York, a montré par ses expériences que le charbon calciné pouvait être utilisé pour purifier les mines, les puits; en effet, 1 volume de charbon a la propriété d'absorber 35 volumes de gaz carbonique à la température et à la pression ordinaires.

On préviendra les accidents déterminés par le gaz carbonique, dans les celliers et les caves, où sont des cuves en fermentation, en entre-

tenant un courant d'air assez rapide pour enlever le gaz à mesure qu'il se produit. La densité de l'acide carbonique explique les accidents si fréquents qui arrivent dans les cuves à vendanges et les caves où fermentent le vin et en général les liquides sucrés. On se mettra à l'abri de tout danger par une ventilation bien dirigée ou par une injection d'ammoniaque dans l'air.

Des secours à donner aux personnes asphyxiées par le gaz acide carbonique.
(M. Herpin.)

1° Il faut soustraire le malade à la cause de l'asphyxie, l'exposer au grand air et à l'ombre. Plus l'air est frais, plus il est convenable : *il faut se garder de placer l'asphyxié dans un lit chaud.*

2° On déshabillera le malade, de façon qu'aucune partie de son corps et surtout la poitrine, ne soit comprimée par les vêtements.

3° On le couchera à terre sur le dos, la tête et la poitrine un peu élevées, et on lui maintiendra la tête droite.

4° On lui jettera avec force de l'eau froide sur le visage et par tout le corps; on frictionnera le corps et la poitrine particulièrement, avec des linges trempés dans l'eau vinaigrée ou un liquide alcoolique, eau de mélisse, eau de Cologne, etc.

5° On essuiera les parties mouillées avec des serviettes chaudes, puis on recommencera les frictions avec une flanelle sèche ou une brosse.

6° On insufflera de l'air dans la poitrine du malade, en appliquant la bouche sur la sienne, ou bien au moyen d'un roseau, d'un tuyau de plume, ou encore avec le soufflet de Gorcy, le tube de Chaussier, une sonde laryngienne. Dans tous les cas, cette insufflation doit être faite doucement, car mal pratiquée, elle peut être funeste.

Il faut beaucoup insister sur ces moyens, qui sont les meilleurs.

7° On chatouillera l'intérieur des narines et le bas des lèvres avec

les barbes d'une plume, ou avec d'autres corps légers; on fera sentir ou respirer avec précaution au malade, de temps en temps, de l'ammoniaque ou du vinaigre fort.

8° On lui donnera un ou plusieurs lavements froids, faits avec de l'eau et une poignée de sel, ou avec de l'eau vinaigrée, de l'eau de savon, une décoction de sené, une dissolution de sulfate de magnésie (30 grammes).

Si malgré ces moyens, l'asphyxié continue à être dans un grand assoupissement, si son corps est toujours chaud, s'il a le visage rouge, les yeux gonflés, des signes de congestion, on le saignera à la jugulaire, au bras ou au pied, ou bien on lui appliquera une douzaine de sangsues au cou.

Il faut administrer ces secours avec la plus grande promptitude et les continuer pendant plusieurs heures et sans interruption, lors même que l'individu paraît mort. On a vu plusieurs fois des asphyxiés revenir après 3 ou 4 heures de mort apparente.

Lorsque le malade aura repris connaissance et que les symptômes alarmants seront dissipés, on le couchera dans un lit chaud et on lui fera prendre quelques cuillerées de vin chaud sucré ou de potion cordiale.

QuanD l'asphyxié n'a pas perdu connaissance, ce qui arrive quelquefois, il faut le transporter de suite au grand air, lui faire des aspersions au visage avec de l'eau froide, lui faire boire quelques cuillerées d'eau vinaigrée ou de limonade, lui faire flairer de l'ammoniaque; il ne tarde pas à recouvrer la santé.

Ce traitement peut s'appliquer également aux asphyxies occasionnées par l'oxyde de carbone, le gaz des marais, le gaz des mines de charbon, le gaz d'éclairage, le défaut d'air respirable.

DE L'ACIDE CARBONIQUE DANS LA RESPIRATION.

La respiration joue un rôle très-actif dans la nutrition. En effet, les fluides absorbés par les animaux ou par les plantes n'ont pas toutes les qualités qui leur sont nécessaires pour servir à la nutrition ; ils ne peuvent les acquérir qu'au contact de l'air. De là l'existence d'une nouvelle fonction commune à l'animal et à la plante, la respiration, qui a pour but de donner au fluide nourricier, vicié par l'exercice des actes vitaux, le moyen de réparer en partie les altérations qu'il a subies. Aucun être vivant ne peut s'y soustraire, ni l'habitant des eaux les plus profondes, ni le parasite logé dans l'intérieur d'un autre être vivant, et cela dans les deux règnes organisés et à tous les âges.

Voyons donc quels moyens la nature emploie pour soumettre les fluides nourriciers à l'action vivifiante de l'air; mais avant d'aborder cette étude, il faut poser en principe que toujours, pour que l'air puisse agir efficacement sur ces fluides, il faut qu'il n'en soit séparé que par des membranes minces et humides, et que son action sera d'autant plus énergique que les surfaces de contact seront plus étendues.

Respiration animale. — Chez les animaux, le sang se charge pendant la circulation et par le fait de la nutrition d'une quantité notable d'acide carbonique qui le rendrait incapable d'exercer de nouveau les fonctions qui lui sont dévolues, si le moyen ne lui était fourni de se débarasser de ce gaz. L'acide carbonique, que l'on trouve dans le sang, provient de la combustion du carbone dans les tissus traversés

par ce liquide. Chez l'homme et chez les vertébrés, le sang ainsi chargé d'acide carbonique ou le sang noir circule dans les vaisseaux veineux et vient échanger dans le poumon l'acide gazeux dont il s'est chargé dans le corps contre une nouvelle quantité d'oxygène. Cet oxygène servira à son tour à la formation de nouvel acide carbonique, quand la circulation aortique aura conduit aux différentes parties du corps le sang hématosé, c'est-à-dire qui vient de respirer.

La respiration, telle qu'elle s'opère dans les poumons, est donc un phénomène de nature essentiellement physique : elle consiste uniquement dans l'échange de l'acide carbonique, dont une partie du sang se trouve alors chargé, contre de l'oxygène emprunté à l'air atmosphérique; c'est entre les ramuscules aérifères du poumon et les capillaires sanguins que s'opère cet échange (1).

Les fines parois de ces vaisseaux chargés les uns d'air, les autres de sang renfermant de l'acide carbonique en dissolution, se comportent comme toutes les membranes organisées, lorsqu'elles sont placées entre des fluides de nature différente : il y a échange des fluides à travers ces membranes, échange qui se fait par endosmose et exosmose.

Quant à la formation de l'acide carbonique, elle est moins un acte spécial à la respiration qu'un phénomène de nutrition générale. C'est un travail d'oxydation s'opérant dans tous les tissus, et duquel résulte une combustion tout à fait comparable à celles dont la chimie nous donne la théorie. Elle a lieu partout où le gaz oxygène se trouve

(1) On ne connaît pas la nature de la combinaison qui s'opère dans le sang entre l'oxygène et les globules. M. Liebig a émis l'opinion : 1° que le fer, principe constant des globules, fixe l'oxygène au poumon et devient du peroxyde de fer; 2° que ce peroxyde est réduit à l'état de protoxyde par les éléments combustibles du sang; 3° que l'acide carbonique, produit principal de ces combustions, est changé en carbonate de fer; 4° que ce carbonate est décomposé au poumon en acide carbonique qui s'échappe à travers les membranes de cet organe, et en protoxyde de fer qui fixe l'oxygène de l'air. D'autres expérimentateurs attribuent aux globules eux-mêmes le rôle que M. Liebig a attribué au fer, mais on ne sait rien de précis sur ce point.

mis en contact avec des principes carbonés. L'oxygène brûle le carbone, et le transforme en acide carbonique, en même temps le sang rouge devient noir.

La respiration agit essentiellement sur les principes de composition ternaire, et ceci nous explique pourquoi les aliments de cette nature ont été appelés *aliments respiratoires*.

Les anciens ne se faisaient pas une idée exacte de la nature des phénomènes respiratoires ; ils n'en comprenaient pas davantage l'utilité. Ils se bornaient à dire que la respiration rafraîchit le sang, ce qui est une erreur, puisqu'elle est une des principales sources de la chaleur produite par certains animaux.

Un chimiste anglais du XVII[e] siècle, Maïou, mit le premier les physiologistes sur la voie de la théorie véritable des phénomènes respiratoires. Il montra qu'un animal enfermé sous une cloche prenait quelque chose à l'air, et que le gaz restant était impropre à la respiration, ce qu'il expliquait en disant qu'il avait perdu son principe de *combustibilité*. Maïou vit qu'il se passait là quelque chose d'analogue à l'oxydation des métaux ; mais à cette époque l'oxygène n'avait pas encore été isolé, ni défini, et Maïou n'avait à sa disposition que les appareils de son temps ; du reste il ne put continuer ses recherches, car il mourut très-jeune.

En 1777, Lavoisier établit que la combustion respiratoire est une combustion de carbone, et qu'elle opère la transformation de ce dernier en acide carbonique ; mais il se trompa en plaçant le siége de cette combustion dans les poumons. Lagrange fit bientôt remarquer que l'acide carbonique arrive tout formé dans ces organes, et les expériences faites depuis lui ont donné raison. Le sang rouge renferme de l'oxygène, le sang noir contient au contraire de l'acide carbonique : ce dernier gaz ne se forme donc pas dans le poumon, puisqu'il existe dans le sang avant d'arriver à cet organe respiratoire, qui n'a d'autre fonction que d'opérer l'échange de l'acide carbonique du sang contre l'oxygène de l'air.

On sait que l'air atmosphérique est un mélange d'oxygène et d'azote à peu près dans les proportions de 20,81 d'oxygène et de 79,19 d'azote, en volumes, soit en poids de :

Azote	77
Ozygène	23
	100

On y trouve, en outre, de 2 à 6/10000 d'acide carbonique et une quantité variable de vapeur d'eau. L'air expiré, c'est-à-dire expulsé du poumon, après avoir servi à la respiration, a perdu une notable quantité de son oxygène et l'acide carbonique y est en proportion plus considérable qu'auparavant ; on peut s'en assurer au moyen de l'eau de chaux.

A chaque expiration, l'air inspiré a perdu de 2 à 4/100 de son oxygène et il s'est chargé d'une quantité à peu près égale d'acide carbonique. Un homme brûle, en vingt-quatre heures, de 220 à 230 grammes de carbone. La vapeur d'eau est aussi en quantité plus considérable dans l'air expiré, ce qui rend l'haleine humide ; on observe facilement ce phénomène en hiver. Les animaux aquatiques font subir la même épuration à leur sang, non pas en décomposant l'eau, mais au moyen de l'oxygène de l'air dissout dans cette eau. Les proportions d'oxygène et d'azote contenues dans l'air de l'eau diffèrent sensiblement de ce qu'elles sont dans l'atmosphère : il y a plus d'oxygène et moins d'azote, on y trouve jusqu'à 32/100 du premier gaz.

Tous les animaux sont bien éloignés d'avoir une égale activité respiratrice, et il s'en faut également de beaucoup qu'ils respirent tous par des organes de même forme ou de même complication. Ces organes présentent aussi d'autres variations qui tiennent aux conditions dans lesquelles chaque espèce est appelée à vivre : ainsi les espèces aquatiques n'ont pas besoin d'avoir, comme celles qui habitent l'air,

leurs organes de respiration protégés contre la dessication, accident qui serait mortel pour les animaux aériens. Je vais passer en revue les divers modes de respiration.

Respiration cutanée. — Chez tous les animaux, aériens ou aquatiques, la peau concourt à l'exercice des phénomènes respiratoires ; mais cette respiration ne suffit à accomplir l'hématose que chez quelques animaux inférieurs, tous aquatiques. Le plus souvent des organes spéciaux sont affectés à cette fonction, et ces organes sont tantôt des poumons, tantôt des trachées, ou encore des branchies.

Respiration pulmonaire.—L'organe respiratoire des vertébrés aériens a reçu le nom de poumons. Chez l'homme et les mammifères, les poumons sont des sacs situés dans la cavité du thorax où ils sont enveloppés par la plèvre, membrane de nature séreuse appliquée par un de ses doubles sur le corps même des poumons (plèvre viscérale), et par l'autre sur la paroi interne de la cage thoracique à laquelle elle adhère (plèvre pariétale). Le feuillet enveloppant le poumon peut glisser avec le poumon lui-même dans l'intérieur de l'autre feuillet, pendant les mouvements d'inspiration et d'expiration, ce qui facilite l'entrée et la sortie de l'air nécessaire à l'hématose.

Il y a deux poumons, l'un à droite, l'autre à gauche : le premier a trois lobes chez l'homme, le second deux seulement; celui-ci est plus petit, parce qu'il doit laisser la place du cœur rejeté du même côté de la poitrine. Le nombre de ces lobes peut varier suivant les espèces : chez le paca, rongeur américain, on voit sept lobes au poumon droit, quatre au gauche. Chez les cétacés, chacun des deux poumons n'a qu'un seul lobe.

Les poumons présentent deux parties : la trachée artère ou conduit aérien, et le parenchyme pulmonaire. Cette dernière partie est intérieure et formée par la réunion d'innombrables vaisseaux sanguins résultant de l'anastomose des artères pulmonaires et des veines du

même nom, mises en rapport par des vaisseaux capillaires. Des canalicules aériens, qui sont les divisions ultimes de la trachée artère et de ses bronches, leur sont associés et portent aux poumons l'air nécessaire à la respiration. Les vaisseaux artériels y conduisent le sang noir qui vient se débarrasser de son acide carbonique et prendre du nouvel oxygène avant de retourner au système aortique par les veines pulmonaires et le cœur gauche.

L'entrée de l'air dans les poumons (inspiration) et sa sortie (expiration), sont déterminées par les contractions du diaphragme et des muscles de la cage thoracique. On ne saurait mieux comparer le rôle du sac pulmonaire qu'à celui d'une vessie placée dans l'intérieur d'un soufflet et communiquant avec son tube : les dilatations et les resserrements du soufflet rempliraient la vessie d'air ou la dégonfleraient ; la trachée artère est le tube de ce soufflet aérien qui permet à l'air l'accès des poumons.

Chez les oiseaux, le poumon a une structure différente en rapport avec la plus grande activité respiratrice de ces animaux. Cuvier disait que si l'on prend pour unité la respiration des mammifères (animaux à respiration simple), on peut regarder les oiseaux comme ayant une respiration double. Chez ces animaux, l'air ne s'introduit pas seulement dans le poumon, mais des sacs ou poches aériennes en rapport avec cet organe en reçoivent une certaine quantité, l'emmagasinent pour ainsi dire et lui donnent accès jusqu'à l'intérieur des os. C'est au point qu'au moyen d'un trou pratiqué soit au fémur, soit à l'humérus, on peut insuffler en entier le corps de l'oiseau.

Chez les reptiles, les poumons sont établis sur deux modes différents. Chez les tortues et les crocodiles, au lieu de constituer de simples sacs, comme ceux des autres reptiles, ils conservent en partie la disposition qui les caractérise dans les oiseaux ; mais ils ne fournis-

sent pas des sacs aériens se prolongeant dans le système osseux. Chez les sauriens, ce sont de simples poches à parois élastiques ; chez les ophidiens et quelques sauriens serpentiformes, on trouve deux poumons très-inégaux, l'un fort long, l'autre si court qu'on en a quelquefois nié l'existence. Chez les batraciens, on voit deux poumons en forme de sacs ; ces animaux jouissent d'une respiration cutanée très-active et capable de suppléer à la suppression momentanée de la respiration pulmonaire : aussi peut-on arracher les poumons à une grenouille sans la faire mourir (Spallanzani).

Respiration branchiale. — Chez les poissons, on peut considérer la vessie natatoire, espèce de poche remplie d'air, comme un poumon rudimentaire. Cette vessie fait fonction d'appareil hydrostatique, et à cet effet, elle est remplie d'un gaz qui est un mélange d'oxygène et d'azote dans des proportions très-variables, même pour une seule espèce. On y trouve aussi un peu d'acide carbonique de 2 à 3 centièmes. Beaucoup de poissons manquent de vessie natatoire, mais tous sont pourvus de branchies qui sont les organes spéciaux de la respiration aquatique. Les branchies sont des organes vasculo-respiratoires destinés à soumettre à l'oxygénation le fluide sanguin de la plupart des animaux aquatiques, et c'est au moyen de l'oxygène de l'air dissout dans l'eau que s'effectue ce mode de respiration. Ainsi que l'exprime leur nom, les branchies sont des organes plus ou moins branchus, en saillie sur une partie spéciale du corps, leur position variant beaucoup chez les divers animaux. Au lieu de recevoir le fluide respirable dans des ramifications d'une capacité quelconque, elles baignent dans le fluide même, soit qu'elles pendent librement à la surface du corps, soit qu'elles s'épanouissent dans une sorte de réservoir où l'eau est introduite par des procédés toujours fort curieux. Leur surface, multipliée proportionnellement au nombre de leurs ramifications, est toujours recouverte d'une peau fort mince et très-perméable.

On trouve des branchies non-seulement chez les poissons, mais chez les crustacés, les cirrhipèdes, les annélides, les mollusques, etc.

M. Gréhant a étudié spécialement la respiration des poissons, et a exposé, il y a quelques mois, des observations très-intéressantes sur cette question (1). Il résulte de ses travaux que :

1° Un poisson placé pendant plusieurs heures dans un volume d'eau limité exhale toujours plus d'acide carbonique qu'il n'absorbe d'oxygène ; souvent le volume de cet acide carbonique exhalé est le double du volume d'oxygène absorbé ;

2° Dans ces conditions, il y a quelquefois une légère absorption d'azote, d'autres fois une petite exhalation de ce gaz ;

3° Un poisson privé de sa vessie natatoire exhale de l'acide carbonique et absorbe de l'oxygène, comme avant l'ablation de cet organe; placé dans un volume limité d'eau, il exhale aussi plus d'acide carbonique qu'il n'absorbe d'oxygène.

M. Gréhant a employé pour ses recherches des appareils qui ne laissent rien à désirer pour la précision et l'exactitude des résultats; les procédés employés autrefois par MM. Humbold et Provençal, pour extraire les gaz contenus dans l'eau, étaient au contraire défectueux.

Respiration trachéenne. — Dans les insectes, la respiration se fait au moyen de trachées. Ce sont de longs tubes pourvus de deux membranes séparées par une troisième formée d'un fil spiral fort semblable au fil déroulable des trachées végétales. Les trachées s'ouvrent au dehors par plusieurs orifices habituellement percés sur les parties latérales du corps et qui sont soutenus par les stigmates. Le tube qui part de chaque stigmate se dirige dans l'intérieur du corps en s'y ramifiant, et envoie ses rameaux aux différents organes pour

(1) *Recherches sur l'excrétion de l'urée et sur la respiration des poissons.* (Thèse pour le doctorat ès-sciences.)

porter au sang qui les baigne l'air nécessaire à son hématose.

Tous les insectes, à l'état parfait, respirent par des trachées ; le nombre des stigmates est variable. Quelques-uns ont à la fois des trachées et des branchies, tels sont les cousins, les éphémères, l'agrion, les libellules, etc.; mais il est à remarquer que ce n'est qu'à l'état de larve ou de nymphe.

De quelque manière que l'air pénètre dans le corps des insectes, il est porté dans toutes les parties par les tubes trachéens, de même que le sang s'y promène partout au moyen de la circulation. L'action de l'air sur le sang doit donc se produire dans tous les organes, comme l'avait remarqué Cuvier, en sorte que la respiration n'est pas localisée comme dans tant d'autres animaux.

Produits de la respiration. — L'air qui a servi à la respiration de l'homme et des animaux est vicié, et contient une forte proportion d'acide carbonique. Voici, d'après Lassaigne, les quantités de ce gaz que l'homme et les principaux animaux versent dans l'air en une heure.

	litres.
Taureau	271.10
Cheval	219.72
Bélier de 8 mois	55.23
Chèvre de 8 ans	21.48
Chien de chasse	18.30
Homme	17.76
Chevreau de 5 mois	11.60

D'après Davy et Gay-Lussac, l'air que l'homme respire et contenant 21 parties d'oxygène sur 100, n'en renfermerait plus que 18 ou 19 à sa sortie du poumon. Les expériences de MM. Dumas, Scharling, Andral et Gavarret, Regnault et Reiset, ont montré que l'air expiré contient environ 4 p. 100 d'acide carbonique.

D'après Lavoisier et Seguin, un homme au repos et à jeun consomme par heure, à la température de 32°, 24 litres d'oxygène, soit

34g490; pendant la digestion, il consomme 37l689 d'oxygène, soit 54g159.

M. Dumas, expérimentant sur lui-même, a trouvé que l'absorption d'oxygène était de 23 litres ou 33 grammes par heure, soit 800 grammes par 24 heures. Il se produit environ 13 litres d'acide carbonique pour le même temps. Comme l'air est vicié tout à la fois par la transpiration pulmonaire et par la transpiration cutanée, M. Dumas estime que le volume d'air à fournir par individu et par heure doit être à peu près de 6 mètres cubes, pour que les conditions de salubrité soient convenablement remplies. Outre l'oxygène absorbé par le sang, une petite partie est utilisée pour la combustion de l'hydrogène, aussi le volume de l'acide carbonique exhalé en un temps donné ne représente jamais exactement le volume entier de l'ovygène absorbé (Lavoisier).

MM. Andral et Gavarret ont établi que le phénomène respiratoire atteint son maximum d'énergie vers 30 ans; il croît jusqu'à cet âge et décroît jusqu'à la mort. De 20 à 30 ans, la quantité d'acide carbonique exhalé est de 18 à 20 litres par heure.

La quantité d'acide carbonique expiré dépend beaucoup de la fréquence des mouvements respiratoires. Quand les expirations sont ralenties, le volume d'air renferme une plus forte proportion de gaz carbonique, quand elles sont plus fréquentes, la proportion d'acide carbonique diminue; mais, en somme, dans un temps donné, *la quantité absolue* de ce gaz exhalé est plus forte dans le cas où les expirations sont fréquentes (M. Longet).

Le tableau suivant montre que l'exhalation de l'acide carbonique se règle en quelque sorte sur la mesure du mouvement respiratoire (Lehmann).

NOMBRE des expirations dans une minute.	ACIDE CARBONIQUE contenu dans 100 centim. cubes d'air expiré.	VOLUME en centimètres cubes de l'air expiré en une minute.	VOLUME en centimètres cubes de l'acide carbon. expiré en 1 minute.	ACIDE CARBONIQUE exhalé pendant une expiration.
6	5.7	3.000	171	28.5
12	4.1	6.000	246	20.5
24	3.3	12.000	396	16.5
48	2.9	24.000	696	14.5
96	2.7	48.000	1296	13.5

L'exhalation de l'acide carbonique, chez l'homme, varie suivant le degré de température, c'est-à-dire suivant les saisons et les climats. Les proportions varient en raison inverse de l'élévation de température : la quantité d'acide carbonique exhalée en hiver par l'homme surpassse en moyenne d'un cinquième la quantité rejetée pendant l'été. M. Barral a constaté sur lui-même qu'en hiver sa respiration plus active consommait, par heure, 13 grammes de carbone et 10 grammes seulement en été.

L'exhalation de l'acide carbonique augmente lorsque le baromètre baisse (Muller).

L'homme fournit plus d'acide carbonique que la femme : chez les animaux, la différence du sexe produit les mêmes résultats.

Les aliments exercent aussi une certaine influence sur les quantités de l'acide exhalé : les aliments non azotés augmentent cette proportion, aussi les nomme-t-on *respiratoires*; par opposition, l'usage des aliments azotés fournit moins d'acide carbonique (MM. Regnault et Reiset).

Le sommeil amène une diminution sensible dans l'intensité des phénomènes chimiques de la respiration : on a trouvé que les quantités d'acide carbonique exhalé par un homme dans des temps égaux à l'état de veille et pendant le sommeil, étaient dans le rapport des nombres 40,74 et 31,39, c'est-à-dire que la quantité d'acide carbonique est environ d'un quart moins forte pendant le sommeil que pendant la veille.

(1) *Annales de chimie et de physique*, 1849.

Respiration végétale.— Par ce mot respiration, on entend absorption des gaz empruntés par l'organisme végétal à l'atmosphère, et expulsion de ceux qu'il y verse à la suite de l'absorption opérée dans la profondeur de ses tissus. On admet généralement que les végétaux ont pour mission spéciale d'assainir l'atmosphère par leur respiration, en décomposant l'acide carbonique de cet air pour verser à sa place de l'oxygène.

Récemment M. Garreau a expliqué cette production d'oxygène d'une façon toute différente de celle admise jusqu'à nos jours. Dans sa théorie, admise également par MM. Sachs et Baillon, deux ordres de phénomènes différents s'exécuteraient simultanément : l'un consistant en une inspiraton d'oxygène atmosphérique et dans un dégagement corrélatif de gaz carbonique, constituerait seul la respiration; l'autre caractérisé par la décomposition dans les tissus sous l'influence de la lumière solaire, de l'acide carbonique absorbé ainsi que par un dégagement d'oxygène serait un simple phénomène de nutrition.

M. Duchartre admet comme étant l'acte le plus important de la respiration végétale, l'absorption du gaz acide carbonique et sa réduction dans l'intérieur des tissus avec fixation de carbone et dégagement d'oxygène. Ces deux phénomènes ne peuvent s'accomplir que sous l'influence de la lumière solaire, et sont intimement liés à l'existence de la chlorophylle. Aucun organe en effet dont les cellules ne renferment pas de chlorophylle, ne peut décomposer l'acide carbonique : les feuilles vertes sont réduites par l'obscurité à la même impuissance (*Eléments de botanique*, par P. Duchartre).

Autrefois on distinguait.

1° *La respiration diurne et chlorophyllienne*, appartenant aux parties vertes caractérisée par la décomposition du gaz carbonique et par une exhalation d'oxygène.

2° *La respiration nocturne ou des organes colorés*, appartenant à tous les organes de la plante, même aux parties vertes pendant l'obscu-

rité et déterminant une expiration de gaz carbonique en même temps qu'une inspiration d'oxygène.

M. Duchartre conseille le rejet de ces dénominations, car de nombreuses expériences ont bien établi que toutes les parties colorées (1), *mais pourvues de stomates*, ainsi qne les feuilles vertes, possèdent la respiration chlorophyllienne pendant le jour, et en outre que le dégagement diurne d'acide carbonique n'est pas exclusivement propre aux organes colorés.

Chacun sait le rôle que tous les naturalistes ont attribué jusqu'ici aux stomates. Dans ces derniers temps, M. Barthélemy a donné une théorie de la respiration végétale qu'il fait reposer sur le rôle que joue la cuticule. Pour lui, l'acide carbonique de l'air pénétrerait dans la plante par diffusion à travers la cuticule, et les stomates ne serviraient guères qu'au rejet ou à l'introduction de l'azote (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1868.)

Respiration chlorophyllienne.—Etudiée par beaucoup de savants, par Hales en 1730, plus tard par Bonnet, Priestley, Ingenhousz, elle fut bien établie par Sénebier qui reconnut que les feuilles au soleil (2)

(1) M. Théodore de Saussure avait reconnu cette propriété des organes colorés; il rapporte dans ses *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 56, une de ses expériences : « La variété de l'*Atriplex Hortensis*, où toutes les parties vertes sont remplacées par des parties rouges ou d'un pourpre foncé, à fourni, sous l'eau de source, dans l'espace de 5 à 6 heures, sept à huit fois son volume de gaz oxygène qui ne contenait que 0,15 de son volume de gaz azote. La variété de la même plante, qui a les feuilles vertes, n'a pas fourni du gaz oxygène qui fut plus pur et plus abondant. »

(2) Plusieurs physiciens et naturalistes se sont occupés de rechercher quelle était l'action de chacun des rayons du spectre solaire sur la décomposition de l'acide carbonique. M. Draper imagina une experience qui paraissait assez concluante. (M. Jamin, *Cours à la Faculté des sciences.*) Il prit sept tubes de verre renfermant de l'eau chargée d'acide carbonique et une feuille de graminée, puis il fit tomber sur chacun d'eux l'une des sept couleurs du spectre. Au bout de quelque temps, il se dégagea de l'oxygène dans les tubes recevant les rayons jaune et rouge : il n'y avait rien dans les autres.

En 1867, M. Cailletet, dans un travail envoyé à l'Académie des sciences, chercha à

dégageaient de l'oxygène. Ce gaz résultait de la décomposition par la plante de l'acide carbonique absorbé dans l'air par la feuille ou dans la terre avec l'eau par les racines. Diverses expériences semblent prouver que telle est réellement la marche du phénomène. Ainsi des

démontres que les rayons lumineux agissent d'une manière d'autant plus énergique que leur action chimique est plus faible; en outre, les rayons verts présentent une particularité des plus curieuses : loin de provoquer la décomposition de l'acide carbonique par les parties vertes des plantes, ils semblent au contraire, augmenter la proportion d'acide carbonique contenue dans l'atmosphère.

Jusqu'en ces derniers temps, il semblait résulter des diverses expériences :

1° Que les divers rayons solaires n'agissent pas avec la même intensité comme cause de la décomposition de l'acide carbonique par les plantes;

2° Que ce sont les rayons moyens du spectre, c'est-à-dire les jaunes, qui possèdent au plus haut point cette propriété;

3° Que l'action décomposante s'étend en décroissant rapidement dans les rayons extrêmes et se prolonge même au delà des rayons visibles, mais faiblement.

Toutefois les observateurs s'étaient exclusivement préoccupés d'obtenir des couleurs bien pures et homogènes, sans faire entrer en ligne de compte la différence d'intensité des lumières qu'ils ont fait agir sur les plantes. M. Duchartre a présenté, l'année dernière, à l'Académie des sciences un intéressant mémoire dans lequel l'auteur, M. Prillieux, étudiait l'influence qu'exerce l'intensité de la lumière colorée sur la quantité de gaz que dégagent les plantes submergées. Pour obtenir des lumières de même pouvoir éclairant, bien que de couleurs diverses, M. Prillieux a eu recours à l'emploi de solutions colorées qui pouvaient être rendues à volonté plus foncées ou plus claires. Il versait ces liquides dans des appareils de verre en forme de cylindres creux, dont il entourait des bougies allumées et il faisait varier la solution, jusqu'à ce que la lumière traversant deux cylindres de couleurs différentes, ait de part et d'autre un éclat sensiblement égal. Arrivé à ce point, il prenait un rameau nettement coupé d'une plante aquatique (*potamogeton perfoliatus, Elodea canadensis*), et l'exposait au soleil dans ce cylindre rempli d'eau chargée d acide carbonique. Le rameau dégageait par la coupe une série de bulles qui se suivent à intervalles très-réguliers, quand l'intensité de la lumière est bien constante, mais dont le dégagement se ralentit en même temps que l'intensité de la lumière est amoindrie. M. Prillieux a observé que les lumières de couleurs diverses agissent également sur les parties vertes des plantes en proportion de leur pouvoir éclairant, quelle que soit leur réfrangibilité. Donc, si les rayons modérément réfrangibles du spectre, qui forment la lumière jaune et orangée, ont le pouvoir de produire un plus grand dégagement d'oxygène que les autres rayons plus ou moins réfrangibles; cette propriété est dûe à ce que l'intensité lumineuse de ces rayons moyens est de beaucoup supérieure à celle des rayons extrêmes.

branches feuillées, mises dans de l'eau qui renferme de l'acide carbonique, dégagent de l'oxygène à la lumière, tandis que si, toutes choses restant également d'ailleurs, on soustrait à cette eau son acide carbonique, on arrête en même temps le dégagement d'oxygène.

Les expériences de Th. de Saussure et de plusieurs savants modernes n'ont fait que donner les mêmes résultats. En 1840, cette production d'oxygène fut démontrée par la célèbre expérience de M. Boussingault. Ce savant chimiste faisait pénétrer dans un ballon, un rameau de vigne en pleine végétation. Ce ballon était muni de plusieurs tubulures qui permettaient l'accès de l'air extérieur et la communication avec un appareil propre à doser exactement l'acide carbonique. Le jour l'air du ballon contenait deux fois moins d'acide carbonique que l'air extérieur ; la nuit, le résultat était inverse.

Les expériences faites en Allemagne, par MM. Vogel et Witwer, sur le viburnum tinus, un pelargonium et une calcéolaire, ont donné des résultats semblables, par un temps le plus souvent couvert.

On peut chercher le rapport de l'oxygène exhalé à celui de l'acide carbonique inspiré dans deux conditions différentes :

1° Dans l'air additionné artificiellement d'acide carbonique ;
2° Dans de l'air normal.

C'est avec de l'air auquel il avait ajouté de 7 à 10 centièmes en volume d'acide carbonique que de Saussure a fait ses belles expériences sur les pervenches.

Cet ingénieux observateur remplit un récipient d'air atmosphérique à 0,21 d'oxygène auquel il avait ajouté 0,075 d'acide carbonique ; il introduisit sous ce récipient sept pieds de pervenche dont les racines plongeaient dans un vase séparé ; le tout resta exposé pendant six jours de suite, depuis cinq heures jusqu'à onze heures du matin, aux rayons directs du soleil, affaiblis toutefois lorsqu'ils avaient trop d'intensité. Le septième jour, les plantes n'avaient pas subi la moin-

dre altération. Leur atmosphère n'avait pas sensiblement changé de volume, mais son acide carbonique avait entièrement disparu, et sa proportion d'oxygène s'était élevée à 0,245. Des expériences analogues faites sur la menthe aquatique, la salicaire, sur le pinus genevensis, le cactus opuntia, donnèrent toutes à Th. de Saussure des résultats semblables, toujours la proportion d'acide carbonique diminua et celle d'oxygène subit un accroissement correspondant. Néanmoins, dans ces derniers temps, ces résultats ont été contestés par M. Boussingault, qui avance que le rapport de l'acide carbonique et de l'oxygène est sujet à varier. D'après ses propres expressions, le volume d'oxygène exhalé est un peu moindre que celui de l'acide carbonique, d'où l'on peut conclure qu'un peu d'oxygène du gaz acide reste dans l'organisme.

Dans l'air normal (1), la quantité d'oxygène exhalé est, d'après

(1) A l'époque houillère, la végétation était extraordinairement riche et l'air était plus chargé d'acide carbonique que de notre temps. En 1828, M. Brongniart a signalé l'action des plantes dans la purification de l'atmosphère primitive; nos immenses approvisionnements de combustibles fossiles sont dûs à la destruction de cet acide carbonique en excès dans l'atmosphère houillère, et qui, par l'action des végétaux, fut remplacé par du gaz oxygène. Si l'on se figure tout le carbone ainsi fixé actuellement dans le sol, répandu à l'état d'acide carbonique, on verra que l'air devait en renfermer une quantité énorme, qui était peut-être de 3, 4, 5, 6 et même 8 pour cent. Deux considérations importantes viennent à l'appui de l'opinion soutenue par M. Brongniart. C'est d'abord la remarque faite par de Saussure, que l'acide carbonique est favorable à la végétation, et que les plantes prospèrent mieux dans une atmosphère artificielle contenant 5 à 8 pour cent d'acide carbonique, que dans l'atmosphère naturelle. Ensuite, on n'avait pas encore trouvé dans le terrain houiller d'animal à respiration aérienne, et cette absence paraissait être un rapport avec un excès d'acide carbonique dans l'atmosphère. Il est vrai que depuis on a rencontré quelques insectes, puis des reptiles, animaux très sensibles à un excès d'acide carbonique. M. Bischof a expliqué cette apparente contradiction de la façon suivante. Selon lui, l'intérieur de la terre, comme nous le voyons dans les volcans modernes, aurait émis par plusieurs ouvertures une grande quantité d'acide carbonique, mais ce gaz était retiré de l'atmosphère par les plantes et solidifié au fur et à mesure de sa production. Il est probable cependant qu'il y avait une proportion d'acide carbonique dans l'atmosphère, notablement plus forte qu'aujourd'hui, et on peut jusqu'à un certain point s'expliquer ce fait. En effet, dans toutes les mines, les ouvriers travaillent et vivent dans un milieu bien plus chargé d'acide carbonique que l'atmosphère exté-

MM. Vogel et Witwer, plus grande que celle que renfermait l'acide carbonique absorbé, ce qui s'explique facilement, car les parties vertes décomposent en même temps un peu de l'acide gazeux absorbé par les racines à l'état de dissolution dans l'eau. M. Unger se basant sur l'expérience de M. Boussingault, croit que les plantes ne fixeraient pas une grande quantité de carbone, si, comme le croit ce dernier expérimentateur, et comme l'affirme M. Liebig, elles ne l'empruntaient qu'à l'atmosphère.

Les feuilles décomposent l'acide carbonique avec d'autant plus d'énergie qu'elles sont plus minces et surtout plus laciniées. D'après de Saussure, la salicaire décompose jusqu'à 7 à 8 fois son volume d'acide carbonique par jour, tandis que diverses plantes grasses n'agissent que sur le cinquième ou même le dixième de cette quantité.

Il est assez difficile de préciser la manière dont se comportent à l'ombre les organes verts des plantes. En effet, il est des plantes qui ne viennent qu'à des endroits plus ou moins ombragés. Chacun sait combien est abondante et vigoureuse la végétation des forêts vierges de l'Amérique, et cependant, d'après les voyageurs, à peine y peut-on lire parfois en plein midi. Dans un arbre, les branches inférieures sont à l'ombre et végètent malgré cette situation. Ces faits et des expériences particulières ont fait dire à M. Duchartre que, contrairement à l'avis de beaucoup de naturalistes, l'ombre ne fait qu'affaiblir la décomposition de l'acide carbonique, sans la supprimer entièrement; car on admet généralement, que l'influence directe des rayons solaires ou du moins celle du grand jour, est nécessaire pour que les parties vertes exhalent de l'oxygène et aussi que cette exhalation cesse sous un ciel nuageux et à l'ombre.

Il est des circonstances dans lesquelles on voit des plantes exhaler

rieure. MM. Regnault et Reiset ont pu faire vivre des animaux dans une atmosphère chargée de 50 parties d'acide carbonique pour cent, en prenant la précaution de remplacer à mesure l'oxygène absorbé.

de l'oxygène, quoiqu'elles n'aient puisé ni ce gaz, ni de l'acide carbonique dans l'atmosphère où elles végètent. Cette exhalation est attribuée dans ce cas à la décomposition de l'acide carbonique qu'elles renfermaient dans leur tissu. M. Schultz nie que le tissu des organes verts, à l'état sain renferme jamais de l'acide carbonique. D'après lui, « les parties vertes des plantes renferment des acides, parmi lesquels se trouvent, il est vrai, tous les acides végétaux possibles, mais non l'acide carbonique. » C'est à la décomposition de ces acides végétaux que ce physiologiste attribue l'origine de l'oxygène exhalé.

Respiration générale. — M. Duchartre substitue ce nom de respiration générale aux expressions anciennes de respiration nocturne ou des organes colorés. Cet acte respiratoire appartient à tous les organes et s'effectue constamment. Pour MM. Garreau et Sachs, il constitue la véritable respiration végétale, tandis que la décomposition de l'acide carbonique rentrerait dans le cadre des fonctions nutritives. Il consiste en ce que la plante absorbe de l'oxygène dans l'air et y verse en échange de l'acide carbonique formé par la combinaison de cet oxygène avec du carbone qui faisait déjà partie de la substance de la plante.

Ces organes réagissent donc sur l'air identiquement comme les animaux, et par suite, cette respiration est complétement opposée à la respiration chlorophyllenne; elle a lieu de nuit comme de jour, tandis que celle-ci n'est effectuée que de jour; elle vicie l'air, tandis que l'autre l'assainit; enfin elle détermine dans la plante une perte de substance, au lieu que l'autre a pour effet un dépôt de carbone, c'est-à-dire une augmentation de la matière du végétal.

Cette respiration générale atteint son maximum d'activité dans les organes colorés, c'est-à-dire dépourvus de chlorophylle. C'est dans les fleurs et surtout les organes reproducteurs que l'énergie est plus grande. Les travaux de Th. de Saussure ont donné la mesure de cette

absorption d'oxygène. Déjà dans les *Recherches chimiques sur la végétation*, chap. III, il avait fait connaître, à cet égard, quelques résultats intéressants. Dans un mémoire bien postérieur (*De l'action des fleurs, etc. Annales de physique et de chimie*, tome XXI), il a traité cette question avec beaucoup de détails et aussi avec plus de rigueur. Il a reconnu, entre autres faits, que parmi les diverses parties des fleurs, les organes sexuels sont ceux dans lesquels, toute proportion gardée, l'absorption d'oxygène est la plus considérable. Ces faits expliquent pourquoi les fleurs absorbent une moins grande quantité de ce gaz, à l'état double qu'à l'état simple; elles ont, en effet, subi, pour devenir doubles, la transformation de leurs organes sexuels, au moins de leurs étamines, en pétales. Ainsi des fleurs simples de capucine absorbent en 24 heures, 8,5 fois leur volume d'oxygène, tandis que des fleurs doubles de la même espèce n'en absorbent que 7,25 fois leur volume. Dans cette même fleur simple, l'absorption du gaz par les organes sexuels, s'élève à 16,3 fois leur volume. On voit dès lors que les fleurs doivent vicier l'air rapidement, lorsqu'elles sont renfermées en quantité dans un espace resserré, puisque d'un côté elles lui enlèvent son oxygène, et que de l'autre elles y versent constamment de l'acide carbonique. Cet effet, joint à celui que produisent leurs émanations odorantes, suffit pour rendre compte des indispositions qu'elles ont quelquefois déterminées.

La quantité de gaz oxygène consommée par les fleurs est plus grande au soleil qu'à l'ombre, ce qui est dû certainement à l'influence de l'élévation de la température.

Les bourgeons dégagent abondamment de l'acide carbonique; d'après M. Garreau, la proportion de l'acide expiré est d'autant plus forte que ces parties contiennent plus de matières protéiques.

La graine absorbe l'oxygène pour dégager de l'acide carbonique, aussi la présence d'oxygène est-elle indispensable à la germination.

Les fruits verts, particulièrement ceux qui sont pourvus de sto-

mates, ont le même mode de respiration que les feuilles; mais à mesure qu'ils approchent de leur maturité ils perdent peu à peu la faculté d'expirer de l'oxygène à la lumière; ils finissent même par reproduire tous les faits que je viens de signaler chez les organes colorés, c'est-à-dire, absorption d'oxygène et expiration d'acide carbonique. Grischow a vérifié ces résultats sur les fruits du *sorbier des oiseleurs.*

Il est une catégorie de plantes fort remarquables par leur privation complète de couleur verte, ainsi que par l'état rudimentaire ou la configuration singulière de leurs feuilles; ce sont les *Orobanches,* les *Lathræa,* les *Monotropa,* le *Neottia nidus avis,* etc. Ces plantes quoique pourvues de stomates, ce qu'on n'admettait pas autrefois, respirent comme les fleurs : « A toute époque de leur végétation, toutes les parties de ces plantes soit à la lumière solaire, soit dans l'obscurité, absorbent l'oxygène et dégagent à sa place de l'acide carbonique. L'exposition aux rayons directs du soleil n'exerce d'influence sur cette respiration qu'en vertu de l'élévation de température qui rend plus active encore la production d'acide carbonique. » (Ch. Lory, *Annales des sciences naturelles,* 1847.)

C'est encore à la respiration générale que se rattache celle des végétaux inférieurs dépourvus de la couleur verte, et particulièrement des *Champignons.* Ces végétaux vicient l'air la nuit comme le jour et avec la même intensité Ce fait a été constaté par Humboldt chez les *Agaricus campestris* et *Androsaceus,* ainsi que chez le *Boletus suberosus.* L'expérience aussi montre que les champignons dégagent de l'azote et des traces d'hydrogène (Grischow).

L'azote et l'hydrogène sont, comme je viens de le dire, exhalés par les champignons; mais l'azote peut-il être absorbé par la plante dans l'atmosphère et devenir l'une des bases de la respiration végétale? C'est ce que démontrent les expériences de M. Boussingault qui a vu des légumineuses emprunter ce gaz à l'air et devenir ainsi des éléments de fertilisation. Quant à l'hydrogène, M. Schultz en a signalé l'existence

parmi l'oxygène dégagé par les feuilles vertes à la lumière; il a reconnu, dit-il, à plusieurs reprises, que plongées dans de l'eau mêlée de divers sucres, de petit lait, etc., les feuilles vertes et non altérées, soit au jour, par un ciel couvert, soit après le coucher du soleil, ou même pendant la nuit, dégagent toujours de l'oxygène, et produisent ainsi un gaz explosif dont la mousse de platine détermine l'inflammation.

Cette respiration générale se rencontre dans les organes verts, pourvu toutefois que les plantes soient placées dans un lieu obscur. C'est ce qui avait fait donner à cette respiration le nom de *nocturne.* C'est pour empêcher la chlorophylle de se reproduire que l'on soumet les parties vertes de certaines plantes à ce genre de respiration : par le séjour à l'obscurité, le tissu se ramollit, la plante devient aqueuse, peu savoureuse, pâle, en un mot *étiolée* (1), elle dépérit absolument comme le ferait un animal qu'on priverait d'aliments. D'après de Saussure, plus une feuille est charnue, moins elle dégage d'oxygène : les feuilles qui occupent le plus haut degré de l'échelle sous ces deux rapports, sont celles des arbres dépouillés en hiver : les arbres toujours verts sont inférieurs à ces derniers; enfin, parmi les herbes, celles des marais ou des eaux le cèdent notablement à celles qui croissent sur la terre sèche.

M. Boussingault, en 1865 (2), a expérimenté sur les feuilles du *Nerium Oleander*, et il est arrivé à ce résultat que, au soleil un mètre carré de ces feuilles décompose en moyenne 1 litre, 108 d'acide carbonique par heure; à l'obscurité, cette même surface n'a formé en moyenne que 0 litre 7, c'est-à-dire près de 16 fois moins par heure du même gaz. D'après ces chiffres, on peut voir qu'il suffit à une plante

(1). C'est ainsi que l'on se procure la salade connue sous le nom de *barbe de capucin* et le *céleri*.

(2) Sur les fonctions des feuilles; *comptes-rendus*, t. LXI, 1865, pages 605, 613, 657, 665.

d'un temps assez court d'insolation pour réparer toute la perte en carbone qu'elle a pu faire la nuit précédente.

A côté de ces expirations d'oxygène et d'acide carbonique, on a cru pendant quelque temps que les plantes dégageaient d'autres gaz plus ou moins nuisibles. Ainsi en 1861, M. Boussingault avait cru reconnaître que les parties vertes des plantes aquatiques exhalaient de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène protocarboné, en même temps que de l'hydrogène. M. Cloez ayant fait des recherches spéciales à ce sujet, en a obtenu des résultats décidément négatifs pour les conditions normales, mais il a reconnu que les feuilles jaunes ou rouges de certaines plantes dans les mêmes circonstances, ne dégagent pas de gaz oxygène, si elles sont absolument dépourvues de matière verte.

Les plantes aquatiques qui sont dépourvues d'épiderme, et qui sont en général très-minces, empruntent l'air à l'eau qui le tient en dissolution, de telle sorte que les plantes submergées, selon l'ingénieuse remarque de M. Brongniart, respirent par un mode analogue à celui que présentent les poissons et les autres animaux qui respirent par des branchies.

En résumé, l'action de l'air sur la plante (1) donne naissance à deux phénomènes inverses, l'un de réduction ne s'opérant que dans les organes verts et à la lumière : l'autre, d'oxydation ayant son siége dans tous les organes et s'opérant constamment. M. Duchartre est d'avis que l'on peut considérer avec M. Garreau la respiration chlorophyllienne comme un acte purement nutritif, et la respiration géné-

(1) La composition de l'atmosphère parait exercer une grande influence sur les plantes et les animaux qui y sont plongés. M. Georges Ville l'a démontré il y a quelques années par une très-curieuse expérience. Il prit un *Caladium*, à qui il servit à déjeuner de l'ammoniaque, et à dîner de l'acide carbonique. L'arbuste s'accomoda très-bien de cette fortifiante nourriture et il se développa d'une façon prodigieuse, de telle façon qu'un homme avait peine à porter une de ses feuilles, tandis que la plante primitive était de la taille d'un pied d'artichaut ordinaire.

Les portes de l'Institut étaient à peine assez larges pour laisser entrer une de ces feuilles : son pédoncule était gros comme le bras et la feuille entière dépassait en grandeur les plantes tropicales.

rale comme la vraie respiration des plantes, et en conclure, avec M. J. Sachs, à une analogie complète entre la respiration des plantes et celle des animaux.

Les résultats généraux de l'action de l'air sur les fluides nourriciers sont cependant bien différents dans les deux règnes : chez la plupart des plantes la respiration chlorophyllienne l'emporte en effet de beaucoup sur la respiration générale. De là résulte que ces plantes fixent du carbone, et que ce sont en définitive des êtres réducteurs, tandis que les animaux sont au contraire des êtres oxydants. De là résulte aussi que le règne végétal jette dans l'atmosphère plus d'oxygène qu'il n'en absorbe.

Pour terminer cet exposé de la respiration, et résumer cette étude, on peut dire que les plantes purifient l'air altéré par la respiration des animaux. Ceux-ci transforment en acide carbonique l'oxygène de l'air, les plantes reprennent cet acide carbonique par leur respiration diurne, elles fixent le carbone dans leurs tissus et rendent à l'atmosphère de l'oxygène. Tel est le va-et-vient salutaire qui assure à l'air son intégrité constante, et le maintient dans l'état de pureté indispensable à l'entretien de la vie chez les êtres vivant à la surface de notre globe.

Vu : Bon à imprimer,

BUSSY.

Permis d'imprimer,

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

A. MOURIER.

Paris. Imprimerie de Pillet fils aîné, 5, rue des Grands-Augustins.